روعة الكيمياء

مونتي فيتروف و كاثي كوب





روعة الكيمياء

رسالة مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم

عزيزي القارئ:

في عصر يتسم بالمعرفة والمعلوماتية والانفتاح على الآخر، تنظر مؤسسة محمد ابن راشد آل مكتوم إلى الترجمة على أنها الوسيلة المثلى لاستيعاب المعارف العالمية، فهي من أهم أدوات النهضة المنشودة، وتؤمن المؤسسة بأن إحياء حركة الترجمة، وجعلها محركاً فاعلاً من محركات التنمية واقتصاد المعرفة في الوطن العربي، مشروع بالغ الأهمية ولا ينبغي الإمعان في تأخيره.

فمتوسط ما تترجمه المؤسسات الثقافية ودور النشر العربية مجتمعة، في العام الواحد، لا يتعدى كتاباً واحداً لكل مليون شخص، بينما تترجم دول منفردة في العالم أضعاف ما تترجمه الدول العربية جميعها.

أطلقت المؤسسة برنامج «ترجم»، بهدف إثراء المكتبة العربية بأفضل ما قدّمه الفكر العالمي من معارف وعلوم، عبر نقلها إلى العربية، والعمل على إظهار الوجه الحضاري للأمة عن طريق ترجمة الإبداعات العربية إلى لغات العالم.

ومن التباشير الأولى لهذا البرنامج إطلاق خطة لترجمة ألف كتاب من اللغات العالمية إلى اللغة العربية خلال ثلاث سنوات، أي بمعدل كتاب في اليوم الواحد.

وتأمل مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم في أن يكون هذا البرنامج الاستراتيجي تجسيدا عملياً لرسالة المؤسسة المتمثلة في تمكين الأجيال القادمة من ابتكار وتطوير حلول مستدامة لمواجهة التحديات، عن طريق نشر المعرفة، ورعاية الأفكار الخلاقة التي تقود إلى إبداعات حقيقية، إضافة إلى بناء جسور الحوار بين الشعوب والحضارات.

للمزيد من المعلومات عن برنامج «ترجم» والبرامج الأخرى المنضوية تحت قطاع الثقافة، يمكن زيارة موقع المؤسسة www.mbrfoundation.ae

مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم

عن المؤسسة:

انطلقت مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم بمبادرة كريمة من صاحب السمو الشيخ محمد بن راشد آل مكتوم نائب رئيس دولة الإمارات العربية المتحدة رئيس مجلس الوزراء حاكم دبي، وقد أعلن صاحب السمو عن تأسيسها، لأول مرة، في كلمته أمام المنتدى الاقتصادي العالمي في البحر الميت - الأردن في أيار/مايو 2007. وتحظى هذه المؤسسة باهتمام ودعم كبيرين من سموه، وقد قام بتخصيص وقفٍ لها قدره 37 مليار درهم (10 مليارات دولار).

وتسعى مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم، كما أراد لها مؤسسها، إلى تمكين الأجيال الشابة في الوطن العربي، من امتلاك المعرفة وتوظيفها بأفضل وجه ممكن لمواجهة تحديات التنمية، وابتكار حلول مستدامة مستمدة من الواقع، للتعامل مع التحديات التي تواجه مجتمعاتهم.

مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم
MOHAMMED BIN RASHID
AL MAKTOUM FOUNDATION

روعة الكيمياء

العلم المذهل للأشياء المألوفة

تأليف
كاثى كوب ومونتى فيتيرولف

ترجمة
فايقة جرجس

مراجعة
أ.د./ محمد صبري عبد المطلب
أ.د./ محمد محمود أبو علي





The Joy of Chemistry

Cathy Cobb and
Monty L. Fetterolf

روعة الكيمياء

كاثى كوب
ومونتى فيتيرولف

الطبعة الأولى ١٤٣٠هـ-٢٠٠٩م
ISBN 978 977 6263 25 3

كلمات عربية للترجمة والنشر
مكتب رقم ٤، عقار رقم ٢١٩٠، زهراء مدينة نصر
جمهورية مصر العربية
تليفون: ٢٢٧٢٧٤٣١ ٢٠٢+ **فاكس:** ٢٢٧٠٦٣٥١ ٢٠٢+
البريد الإليكتروني: kalematarabia@kalematarabia.com
الموقع الإليكتروني: http://www.kalematarabia.com

مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم
البريد الإليكتروني: tarjem@mbrfoundation.ae
الموقع الإليكتروني: www.mbrfoundation.ae

فيتيرولف، مونتى
روعة الكيمياء / مونتى فيتيرولف وكاثى كوب . - القاهرة : كلمات عربية للترجمة والنشر، ٢٠٠٩
٤٠٨ص، ١٥,٢×٢٢,٨سم
تدمك: ٣ ٢٥ ٦٢٦٣ ٩٧٧ ٩٧٨
١- الكيمياء الحيوية - أصل الحياة
أ- كوب، كاثى (مؤلف مشارك)
ب- العنوان
٥٧٦,٨٣

المحتويات

شكر وعرفان

إننا في غاية الامتنان لزميلنا دكتور جاك جي. جولد سميث لمراجعته الشاملة واقتراحاته الرائعة. نشكرك بشدة يا جاك لجودك علينا بوقتك، ولمساعدتك إيانا كثيرًا. نوجه شكرنا أيضًا لفرانشيسكا باتارو لقراءتها الجمل الطويلة، وإسدائها النصائح لنا برفق حول كيفية اختصارها، ومساعدتها لأولادنا بينما كان آباؤهم منهمكين في العمل. ونتقدم بخالص الشكر إلى دكتور كوب وزوجته لتحليهما بالصبر على قراءة عدد كبير من الأوراق، ولتقديمهما — كما اعتدنا منهما — الملاحظات والاقتراحات التي اتسمت بالمعرفة المستبصرة. ونشكر جودي ديلي على تعليقاتها الممتازة والمتبصرة، كما نشكر ليندا ريجن التي منحتنا كالمعتاد إرشاداتها التي لولاها ما كان هذا الكتاب ليرى النور.

نشكر هيثر أمرمولر، وكريس كرامر وكل فريق الإنتاج بشركة بروميثيوس، ونقول لهم إن مساعدتهم الكريمة والودودة ونصائحهم قد صنعت الفارق بحق.

ونود أن نتقدم بشكر خاص إلى أولادنا ماثيو، وبنجامين، ودانيل فيترولف لاستعدادهم أن يعيشوا في منزل يمتلئ أحيانًا بالروائح المنبعثة من التجارب، وآباء مضطربين ومهتاجين كثيرًا، وأكوام من الأوراق في مكان من المفترض أنه

غرفة معيشة، ونقول لهم إنهم قد ساعدوا في إجراء التجارب وتقديم الأفكار والرسومات والتدخل لحل المعضلات إلى جانب صبرهم الواضح، ونحن نحبكم من أجل كل هذا ومن أجل أشياء أخرى كثيرة.

ونود أن نوجه الشكر لأصدقائنا وزملائنا في مدرسة أيكن الإعدادية، وجامعة ساوث كارولينا أيكن، لتعضيدهم وتشجيعهم. ونعبر عن خالص امتناننا للورا باكون من مدرسة كيندي ميدل سكول لتعريفها إيانا بالأوبليك، ونشكر أيضًا بيث بيكهام لكرمها في تشجيعنا على كل الجهود التي بذلناها. ونود أن نشكر أيضًا العاملين في متجر ترو فاليو هاردوير الموجود في مدينة أيكن الذين وإن لم تتسن لهم معرفة كيفية تقديم المساعدة في عمل كتاب كيمياء، فإننا لم نكن لنستطيع إتمامه لولا العدد الوفير من السلع المتوفرة لديهم إلى جانب استعدادهم الكريم لتلبية كافة مطالبنا الغريبة.

نود أن نشكر طلابنا الذين كانوا متفتحين لمناقشة الكثير من المسائل، ونشكر جوان مورتون وليندا ميوز لكونهما أفضل الشركاء والأصدقاء.

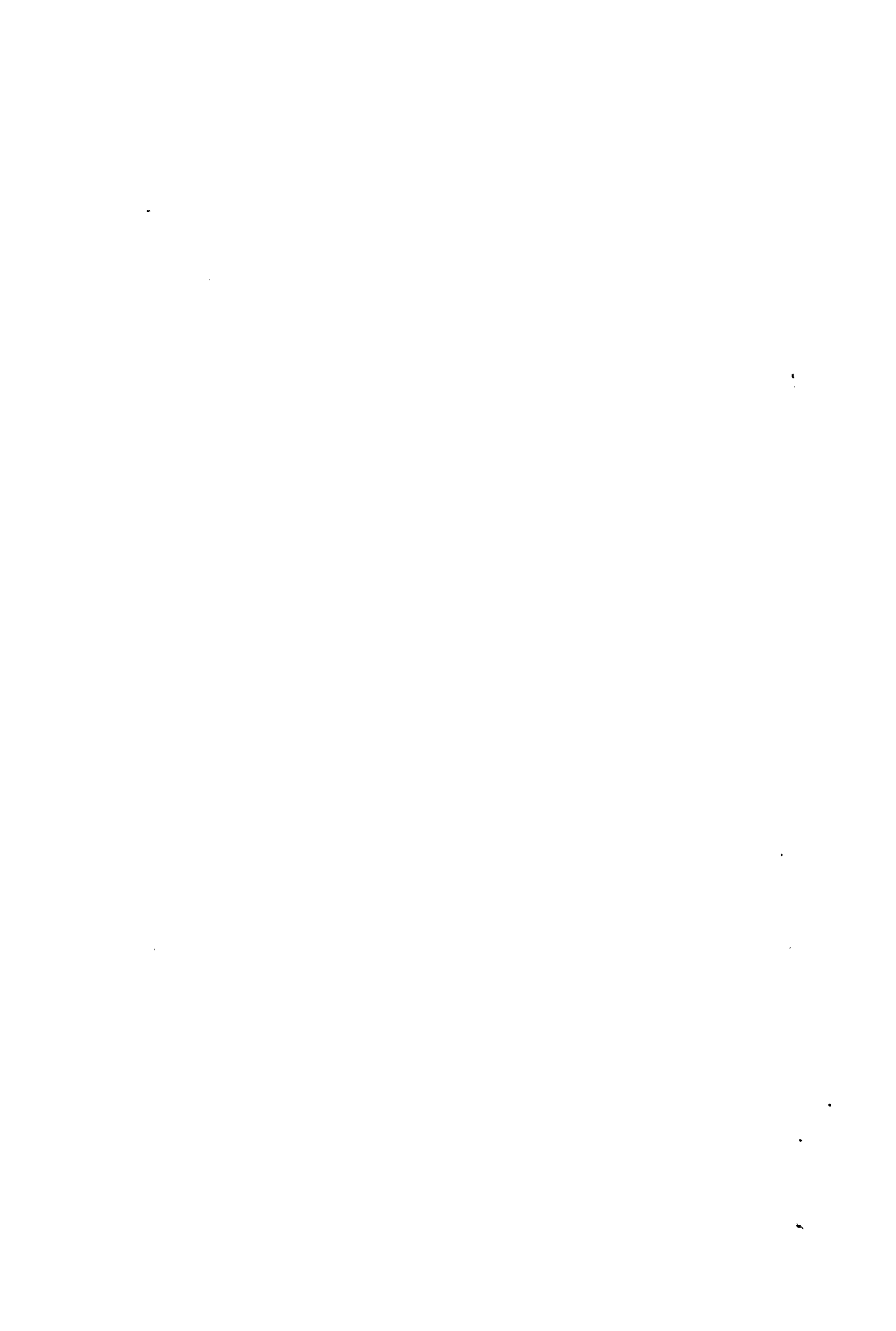
ونحن نهدي هذا العمل — مع خالص حبنا — إلى نيدا جو فيترولف، نموذج القوة والمرح والشجاعة.

هاك الأعمى المتسول يرقص، والأعرج مُنشدًا.
السكير بطل، والمجنون على عرش الملك جالسًا.
الكيميائي المتضور جوعًا في آرائه الذهبية.
وهو يبارك بشدة الشاعر وعروسته الشعرية.

ألكسندر بوب في «An Essay on Man» ١٧٣٤

إن رؤية الكوكب عبر تليسكوب تستحق هذا الاتجاه للتفكير في علم الفلك؛ فالصدمة التى تحدثها شرارة كهربائية في الكوح تفوق في قيمتها كل النظريات ومذاق أكسيد النيتروز، ونيران البركان الصناعي، أفضل من مجلدات الكيمياء.

رالف والدو إيمرسون في «مقالات: السلسلة الثانية» ١٨٤٤





لماذا هذا الكتاب؟

نجد كتب الكيمياء عادة في واحدة من فئتين، إما كتب دراسية أو كتب للأطفال وهي تستهدف في جوهرها القارئ العادي، وثمة أعمال رائعة تصدت لهذا العيب، ومن أهم هذه الأعمال كتاب «وصلات الكيمياء: الأسس الكيميائية للظواهر اليومية» Chemistry Connections: The Chemical Basis of Everyday Phenomena تأليف كيري كيه كاروكستيس Kerry K. Karukstis وجيرالد أر. فان Gerald R. Van، وكتاب «الجني الذي في الزجاجة» The Genie in the Bottle لجو سكواركز Joe Schwarcz.[1] ومع ذلك فقد رأينا أن ندلي بدلونا في هذا المقام مؤمنين بأننا سوف نقدم منهجًا به بعض الاختلاف الطفيف عمّا سبقه من مناهج. ولقد حاولنا أن نكتب الكيمياء بطريقة مبسطة، فهذا الكتاب هو كتاب كيمياء موجه لمن يريد دراسة الكيمياء نظريًّا كي يقرأه بإمعان وهو جالس في منزله مستريحًا، ويضم بين دفتيه أيضًا تجارب عملية مباشرة يمكن تنفيذها في المطبخ أو في المرآب. وما دعانا لكتابة هذا الكتاب هو أنه من نوعية الكتب نفسها التي أحببناها عندما استهللنا دراستنا للكيمياء، وقد كتب كيميائيون هذا الكتاب، لكنه لم يُكتب للكيميائيين خاصة، فقد كُتب للطلاب الذين اعتدنا أن نكونهم وللدارس الموجود داخل

كل منا، ونتمنى أن يتمتع القارئ بالصفحات التالية تمامًا كما تمتعنا نحن بكتابتها.



تصدير

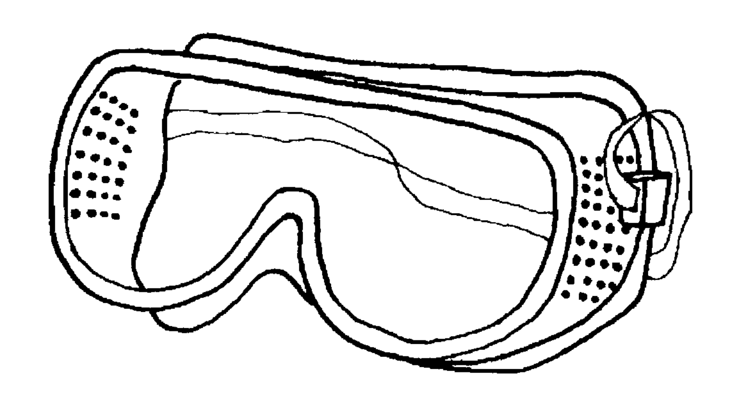
«إنني في مستهل خطواتي لدراسة الكيمياء وهي دراسة غاية في التفرد، لم أر في حياتي شيئًا مثلها من قبل أبدًا، والمواد المستخدمة فيها هي الجزيئات والذرات، وسوف أناقشها بصورة أكثر تحديدًا الشهر القادم.»

الكاتبة جين ويبستر في رواية «صاحب الظل الطويل» ١٩١٢

قد يصعب عند تناول الوضع الحالي للمجتمع الغربي أن نصدق أن الجنس والطهي كانا يومًا ما من المواضيع التي يجري تناولها بحذر بالغ، لكن عندما كتبت إيرما رومبور Irma Rombauer كتابها «روعة الطهي» The Joy of Cooking عام ١٩٣١، وكذا أليكس كومفورت Alex Comfort كتابه «روعة الجنس» The Joy of Sex عام ١٩٧٢، فإنهما بذلك كانا يتناولان مخاوف مجتمعية غاية في الواقعية. ويوضح كتاب إيرما ما يدور في المطبخ، أما كتاب كومفورت فهو يزيل الالتباس بشأن ما يحدث في المخادع، وبالمثل ينظر البعض للكيمياء على أنها أمر مزعج، ومن ثم ربما يكون قد حان الوقت الآن لاكتشاف روعة الكيمياء.

وسوف نكتشف عبر هذه الصفحات السحر المتأصل في الكيمياء؛ من الافتتان بسقوط أوراق الأشجار والألعاب النارية إلى أداء كاشف الدخان وأداء أجهزة الحاسوب، وكذا أساسيات الهضم والاحتراق. ولسوف نوضح هذه المبادئ عن طريق التجارب العملية بأنفسنا باستخدام مواد في متناول الأيدي، ولا يتطلب الأمر ضرورة توافر المعامل والآلات الحاسبة للتمتع بجمال الكيمياء، فالمفاهيم يمكن شرحها في ضوء خبرات الحياة اليومية وباستخدام المواد التي في متناول يديك.

وغالبًا ما يُطلق على الكيمياء العلم المركزي لأنها تقع في لب فهمنا للعالم المادي والحيوي وفي مركز مخاوفنا العامة في كل المجالات بدءًا من الطب ومرورًا بالسياسة ووصولًا للاقتصاد. ومن ثم ينبغي أن ترنّ أصداء مبادئ الكيمياء في مفاهيمنا وخبراتنا. ومن الممكن أن تكون الكيمياء علمًا غاية في الألفة يناجي حدسنا وعقولنا وحسّنا بالمتعة أيضًا، إذا كنا مستعدين أن نترك أنفسنا له بلا قيود، وغرضنا هنا هو أن نتناول ملذات الكيمياء ونكشف القليل عن السيارات والكون وحتى عن الجرائم.



كلمات قليلة وضرورية بشأن الأمان والسلامة

«فيما كنت أقرأ كتابًا عن الكيمياء استوقفتني عبارة: «تأثيرات حامض النيتريك على النحاس» ... لقد رأيت زجاجة على الطاولة مكتوب عليها حامض النيتريك ... كنت أرغب في أن أضحي بـأحد السنتات النحاسية القليلة التي كانت في جعبتي حينذاك ... تكوَّنت بعض الرغاوي والدخان الأزرق المخضَرّ فوق السنت والطاولة، وقد تلون الهواء القريب مني وقتها باللون الأحمر الداكن، ثم تصاعدت سحابة ملونة كبيرة. ثم التقطت عملتي متعلمًا حقيقةً أخرى هي أن حامض النيتريك لا يؤثر فحسب على النحاس ولكن على أصابعي أيضًا ثم مسحت أصابعي في سراويلي مكتشفًا حقيقةً أخرى هي أن حامض النيتريك يؤثر أيضًا على سراويلي.»

عالم الكيمياء الأمريكي إيرا رامسن في
كتابه «سنواتي المائة الأولى» ١٩٧٠

لقد تأصلت الأسبقية للكتب التي تتحدث عن الكيمياء المنزلية تمام التأصل ولكن يجب علينا بادئ ذي بدئ مناقشة الأمان والسلامة.[١] صحيح أننا جميعًا هنا بالغون وعاقلون ومسئولون، وكذلك كانت الشخصية البطولية صاحبة الاقتباس السابق أيضًا، ومن ثم قد لا تضر بعض الكلمات القليلة والضرورية حول السلامة. يقدم كتاب روعة الطهي نصيحة عن حفظ الأطعمة ويقدم روعة الجنس تحذيرًا من الأمراض، إذن ما الذي يمنع أن يكون للكيمياء تحذيراتها أيضًا؟ فالطهو والكيمياء والجنس يتشاركون بعض المخاطر للأشياء التي لا تحظى بالوقاية والإعداد، لنستعرض الأساسيات:

إذا لم يكن لديك نظارة من نظارات الأمان الواقية، اذهب إلى متجر بيع النظارات الآن واشتر واحدة وارتدها وأنت تؤدي التجارب الموجودة في هذا الكتاب.

اقرأ تحذيرات الأمان المتضمنة في التجارب واتبعها بحذافيرها.

قاوم الإلحاح الذي يحضك على أن تكون مبدعًا، فقد يسبب الخلط العشوائي للكيماويات المنزلية بعض الخمائر ذات الروائح الكريهة جدًّا، فلا تخلط قط النشادر مع مواد التبييض!

ابتعد تمام الابتعاد عن المصادر التي يمكن أن تسبب الاشتعال، وقد تتعجب عندما تعلم أن الهواتف الخلوية وغيرها من الأجهزة الكهربائية من هذه المصادر.

صب المخلفات في المرحاض وليس في حوض المطبخ أو حوض الحمام.

استخدم الحد الأدنى من المقادير، فالفرق بين الضجة المدوية والفرقعة البسيطة هو فرق في المقدار.

اعرف المكان الذي يوجد به أقرب صنبور ومطفأة حريق وهاتف، وهي أشياء ينبغي أن تكون ملمًّا بها على أية حال، فالأغراض المنزلية المستخدمة المعتادة لها كم من المخاطر يدعو للوعي بهذه التحذيرات.

احفظ كل شيء بعيدًا عن متناول الأطفال؛ فهذه الكيمياء موضوعة من أجل البالغين، وأيضًا بعيدًا عن الحيوانات الأليفة بمنزلك.

سوف نوجهك لاستخدام بعض أدوات المطبخ في الكثير من التجارب، لكن هذا لا يعني أن الكيماويات غير سامة. استخدم أدوات بلاستيكية وأطباقًا ورقية بقدر الإمكان (وسوف يقال لك متى تستخدم الأدوات الزجاجية فقط)

وتخلص من الأدوات الورقية والبلاستيكية بعد الاستخدام. حتى الأوراق الورقية الرخيصة الثمن يمكن استخدامها في أكثر من تجربة إذا كانت مصنوعة من طبقة بلاستيكية رقيقة. وإذا كان عليك أن تستخدم أدوات مطبخ زجاجية أو خزفية، اغسلها جيدًا وبمعزل عن باقي أدوات المطبخ الأخرى، قبل أن تعزم على أن تستخدمها مرة أخرى لأغراض الطعام، أو يُحبذ أن تحتفظ بمجموعة منفصلة مخصصة للتجارب الكيميائية. وغالبًا سوف تقوم بمعظم التجارب في البدروم أو المطبخ أو الحمام، لكن عليك أن تحفظ المواد الكيميائية بمنأى عن فرش الأسنان وأدوات الطعام أو الأوعية التي تتصل بالطعام أو فرش الأسنان، يمكنك أن تغطي أوعيتك بأوراق الجرائد لمزيد من الحماية.

وتختلف أفران الميكروويف عن الأفران العادية لذا عليك أن تتعامل مع أوقات الميكروويف المعطاة لك في التجربة بالتقريب. حاول أن تعرف جيدًا الميكروويف الخاص بك واستخدم القفاز لإزالة الأشياء الساخنة. ويمكن أيضًا للميكروويف أن يسخن الأشياء على نحو غير منتظم؛ لذلك كن مدركًا أن المحلول الذي يجري تسخينه قد يكون عند درجة الغليان دون أن ترى فقاقيع، لذا عندما تكون غير متأكد، انتظر دقيقة بعد فتح الباب واستخدم القفاز، وكالمعتاد كن واثقًا من عدم إدخال أي معادن في الميكروويف مثل الملاعق مع المواد المفترض دخولها فيه. هذه كيمياء وليس طبخًا، لكن هذا لا يغير طبيعة الميكروويف. وأي شرارة ناتجة قد تكون مثيرة ولكنها خطيرة ويمكن أن تدمر الميكروويف بسهولة.

وقد اختيرت الإجراءات الكيميائية المقدمة هنا بعناية لتمنحك أكبر قدر من المتعة وتجنبك أية مخاطر، لكن من فضلك لا تفترض أن هذا واقع كل التفاعلات أو كل التجارب الكيميائية. مرة أخرى أود أن أؤكد على أنه من الأفضل ترك التجريب للكيميائيين المحترفين، والتجارب الأكثر تعقيدًا لهؤلاء المتدربين على التجارب الكيميائية.

ولا تستخدم أيًّا من المواد الكيميائية التي نحن بصددها في عمل لبخة أو لبوس، أو كما هو مفترض، أو في أي شيء آخر اعتاد الناس أن يفعلوه في الماضي أو في الحاضر. ولا تأكل أيًّا من المواد الكيميائية المستخدمة في هذه التجارب أو تشربها أو تستحم بها أو تضعها على عينيك تحت أي ظرف من الظروف. ولا تعرضها للهب أو لأي شرار (إلا إذا كان هذا جزءًا من التجربة). احم

ملابسك أو ارتد ملابس قديمة. احم يديك عن طريق ارتداء قفاز من المطاط عند الإمساك بالمواد الكيميائية وارتداء القفازات التي تستعمل في الحدائق عند الإمساك بالصوف الفولاذي. عامل جميع الكيماويات المذكورة في هذا الكتاب كما تعامل مبيضات الغسيل والبنزين والمبيدات الحشرية والأشياء الأخرى التي تعرف أنها خطيرة.

أو بكلمات أخرى، اتبع نفس التحذيرات المذكورة في أية مجموعة كيمياء موضوعة للأطفال خاصة. يجب عليك أن تشتري مثل هذه المجموعة الكيميائية، وقد تقول إنها من أجل أولادك، أو يمكن لك شراؤها عبر البريد الإلكتروني. وتحوي العبوة الكيميائية نظارات الأمان الواقية التي تحتاجها والقليل من المواد الكيميائية مع شرح للقليل من التجارب. وهي لا تخوض في شرحٍ عميق، وهو ما نقدمه نحن هنا ولكنها قد تكون مسلية وقد توفر عليك بعض الرحلات إلى متجر بيع الأدوات.



قائمة المشتريات والمحاليل

قائمة المشتريات

تُدرج هنا قائمة بالمكونات التي سوف تُستخدم في التجارب، ويمكن شراء معظمها من متجر بيع الأدوات أو من السوبر ماركت أو إذا لم تجدها في بلدك فيمكنك شراؤها عبر الإنترنت:

- شريط لاصق
- حجر الشبة (يتوافر بقسم التوابل في السوبر ماركت)
- رقائق الألمنيوم
- سلك الألمنيوم (يتوافر في متجر بيع الأدوات المعدنية)
- النشادر (تتوافر في قسم الأدوات المنزلية أو المنظفات)
- أقراص مسكنة لآلام المعدة، ومجموعة من الفوارات
- محلول مُخفض لقلوية ماء حوض السمك يحوي حامض الكبريتيك، وقد يحوي الماء أيضًا باعتبارهما مكونيه الأساسيين (على الأقل ثلاث زجاجات سعة كل منها سبعة وثلاثون مليلترًا)

- عبوة اختبار قلوية ماء حوض السمك (ويُذكر الماء العذب في قائمة المشتريات باسم بروموثيمول الأزرق)
- أسبرين
- بيكربونات الصودا (وليس بيكينج بودر)
- بالونات
- قضيب مغناطيسي (صغير)
- حقنة شرجية
- مصباح ضوء أسود (ضوء غير مرئي) ومثبت
- مادة تبييض (في قسم الأدوات المنزلية)
- شموع
- زيت الكانولا
- طباشير
- حامض الستريك (ويُباع كملح حامض في محل تذوق الأطعمة أو يمكن شراؤه عبر الإنترنت)
- كربونات الصودا النقية (غالبًا ما تنجح صودا الليمون في أداء الغرض)
- مشابك غسيل (من البلاستيك أو الخشب)
- علاّقة ملابس (من المعدن أو البلاستيك)
- مغسلة غاز نحاسية وهي شبكة من النحاس (ويمكن أن تتوافر في متجر الأدوات المعدنية أو السوبر ماركت)
- سلك نحاسي يبلغ طوله قدمين على الأقل (٦٠ سم) ويُفضل أن يكون غير معزول، ولكن يمكن استخدام المعزول أيضًا
- فلين مطاط أو طبيعي، يستخدم كسدادة زجاجة صودا بلاستيكية سعتها عشرون أوقية (٥٩٠ ملي)
- دقيق ذرة
- ضرب من الجبن الأبيض (يُشترى حسب الحاجة)
- زبدة الطّرطير (تتوافر عادةً في قسم المخبوزات أو مع التوابل في السوبر ماركت)

- بطارية خلايا دي D وحامل بطارية (ولا يُشترط وجود الحامل)
- قطارة ذات انتفاخ انضغاطي
- مزيل لطلاء الأظافر (نوع يحوي مادة الأسيتون)
- قفازات مرنة (النوع المستخدم لحماية الأيدي أثناء غسل الأواني أو عند استخدام المنظفات المنزلية مقبول، لكنه لا يتناسب مع الأيدي فعادة لا يأخذ شكل اليد، لذا يُفضل القفازات الطبية وهي تتوافر في الصيدليات)
- ألوان طعام (يُفضل القطرات السائلة وليست الجل القابل للعصر)
- مسامير مطلية بالخارصين (تتوافر في متجر الأدوات)
- القفازات التي تستخدم في الحديقة (المصنوعة من الأقمشة السميكة أو الجلد)
- وسيلة هضم مقللة للغازات (النوع الذي يُتناول قبل الواجبات لتقليل غازات الأمعاء)
- جلسرين (ويُسمى أيضًا جليسرول من الصيدلية)
- فوق أكسيد الهيدروجين
- أعواد ثقاب
- ليمون
- زهرة سائلة
- اللي وهو محلول يستخدم في صناعة الصابون (عادة ما يُباع كمنظف مُجفف لكن لا تشتر النوع الذي يحوي فلز الألمنيوم)
- شريط لاصق عريض وقلم توضيح ثابت
- ملعقتين معدنيتين (يمكن الاستغناء عنهما بعد الاستعمال)
- لبن كامل الدسم (غير مقشود أو بنسبة ٢٪، والشراء حسب الحاجة)
- زيت معدني
- موتزارلا (أصلية ومقلدة، والشراء حسب الحاجة)
- مشبك ورق معدني
- أطباق ورقية مطلية
- ورق حمام

- المزيد من ورق الحمام
- أكياس بلاستيكية (ذات أطراف لاصقة، أحجام كبيرة وصغيرة)
- أكواب بلاستيكية (شفافة ويمكن الاستغناء عنها بعد الاستعمال)
- قمع بلاستيكي
- زجاجات صودا بلاستيكية (شفافة وسعتها عشرين أوقية سائلة (٥٩٠ مليلترًا)، أحضر على الأقل عشرة زجاجات)
- زجاجات صودا بلاستيكية (سعتها ٦٧,٦ أونس (٢ لتر))
- ملاعق بلاستيكية
- رقائق لف بلاستيكية
- كرنب أحمر (يمكن تقطيعه وتجميده إلى الدرجة المراد الوصول إليها)
- كحول الأيزوبروبيل
- نظارة أمان (ويمكن شراؤها من مركز علمي أو تعليمي أو من متجر الخردوات)
- ملح صخري ويُسمى أيضًا نترات الصوديوم (يمكن شراؤه من السوبر ماركت أو من محل متخصص)
- برطمانات بلاستيكية بأغطيتها (ويمكن أن يُغني عنها زجاجات المياه التي سعتها نصف باينت (يعادل نصف لتر تقريبًا))
- أوعية بلاستيكية شفافة صغيرة لاستخدامها كأنابيب اختبار أو استخدم أنابيب اختبار فعلية (يمكن شراؤها من مركز علمي أو تعليمي)
- أكواب عصير صغيرة (ثلاثة أو أربعة)
- قطعة إسفنج (طبيعية أو صناعية)
- مسامير صلب
- صوف فولاذي (درجة ناعمة)
- ماصات
- غراء ممتاز (النوع الذي يحوي سيانواكريلات)
- عبوة اختبار قلوية ماء حمام السباحة (وينبغي أن تقول في قائمة المكونات «فينول أحمر»)

- ملح طعام
- سكر
- أكواب شرب طويلة (ثلاثة أو أربعة)
- أكياس شاي داكن
- ترمومتر يتدرج حتى ٢٢٠ درجة فهرنهايتي على الأقل (١٠٥ سيلزية) (يمكن استخدام ترمومترات اللحوم)
- نسبة ضئيلة من صبغة اليود
- خل
- فولتميتر (قادر على قياس جهد التيار المستمر في المجال من ١ إلى ٣ فولت)
- لبن كامل الدسم
- أعواد ثقاب خشبية

المحاليل

١- كبريتات النحاس

تحذير: يتصاعد بعض الدخان أثناء إعداد هذا المحلول لذا يمكنك أن تعمل في مكان مفتوح كما لو كنت تعد مادة مذيبة أو ورنيش أو مادة مخففة للدهان، والدخان الذي يتصاعد هو لمركبات النيتروجين والأوكسجين مثل تلك الموجودة في الضباب.

أ- ارتد نظارة الأمان الواقية. إذا كان لديك شبكة سلك نحاسية من تلك التي تستخدم في تنظيف الأوعية المنزلية فاستخدمها بدلًا من سلك النحاس، أما إذا لم يكن لديك، أزل الطبقة العازلة من على عشرة بوصات (٣٠ سم) من سلك النحاس إذا كان معزولًا (أما إذا كان غير معزول فاستعمله كما هو) ولفه بحيث يكون مسطحًا في قاع الكوب البلاستيك الذي يمكن أن يسع على الأقل كوبين (سعة كل منهما ٥٠٠ مليلتر) من السائل. إذا كنت ستقطع السلك النحاسي لكي تزيل العزل منه، فإن الأمر سيكون مناسبًا فالسلك يمكن أن يكون في شكل قطع صغيرة بحيث يكون مجموع أطوالها يقترب من العشرة بوصات (٣٠

سنتيمتر). إذا استخدمت شبكة سلك نحاسية من تلك التي تستخدم في تنظيف الأوعية المنزلية، فضع شبكة السلك في قاع الكوب الذي يمكن أن يكون مصنوعًا من البلاستيك الشفاف أو من الزجاج الشفاف، ولكن مهما كانت مادة صنع الكوب فإنه لا يجب أن يعاد استخدامه للشرب.

ب- أضف ثلث كوب (٨٠ مليلترًا) من محلول مخفض قلوية ماء حوض السمك حتى تغطي سطح النحاس أو أقل قليلًا، وهذا المحلول حامضي لذا يجب عليك أن ترتدي قفازًا، وكن حذرًا في كل الأحوال ولا تدعه يلمس يديك أو ملابسك، وإذا لمس يديك فاغسلهما جيدًا بالماء.

ج- أضف نحو أربع ملاعق شاي بلاستيكية (ما يقرب من ٨ جرامات) من بلورات الملح الصخري (نترات الصوديوم)، ثم قلبه ليذوب، غط الكوب بغطاء بلاستيك غير محكم وضعه جانبًا. ينبغي أن يكون المحلول جاهزًا في خلال ما يقرب من اثنتي عشرة ساعة. سيكون التفاعل بطيئًا، ومع ذلك فيمكنك أن تلحظ حدوثه في انسياب الفقاقيع الصغيرة المتدفقة من سطح النحاس. إذا سارت الأمور على ما يرام، يكون لون المحلول شديد الزرقة، ويترسب النحاس وبلورات من نترات الصوديوم في قاع الكوب.

د- صب السائل الأزرق عبر القمع البلاستيكي في زجاجة بلاستيكية لها غطاء، وراع ألا تصب معها المترسب من البلورات والنحاس. اترك المترسب من البلورات والنحاس في الكوب. وقد تكون في حاجة لاستخدام القفاز لأن المحلول لا يزال حامضيًّا وأنت تريد أن تتجنب وصوله إلى يدك، وإذا جاء على يدك، فاغسلها جيدًا بالماء.

هـ- غط الزجاجة وضع عليها بطاقة لتكتب عليها التاريخ واسمك وعبارة «كبريتات النحاس في حامض الكبريتيك» ثم أضف هذا التحذير على الزجاجة: «احذر: مادة آكلة». احفظ المحلول في درجة حرارة الغرفة في مكان آمن بعيدًا عن متناول الأطفال والحيوانات الأليفة.

و- لا تتخلص من أي نحاس أو بلورات غير ذائبة في قاع الكوب، ومن ثم عندما تحتاج لمزيد من محلول النحاس، يمكنك ببساطة أن تعيد ملء الكأس بالمكونات من جديد.

ر- غط الكأس بغلاف بلاستيكي وضع عليه بطاقة تسمية ثم غلّفه وضعه في مكان آمن بعيدًا عن متناول الأطفال والحيوانات الأليفة.

٢- خلات الحديد

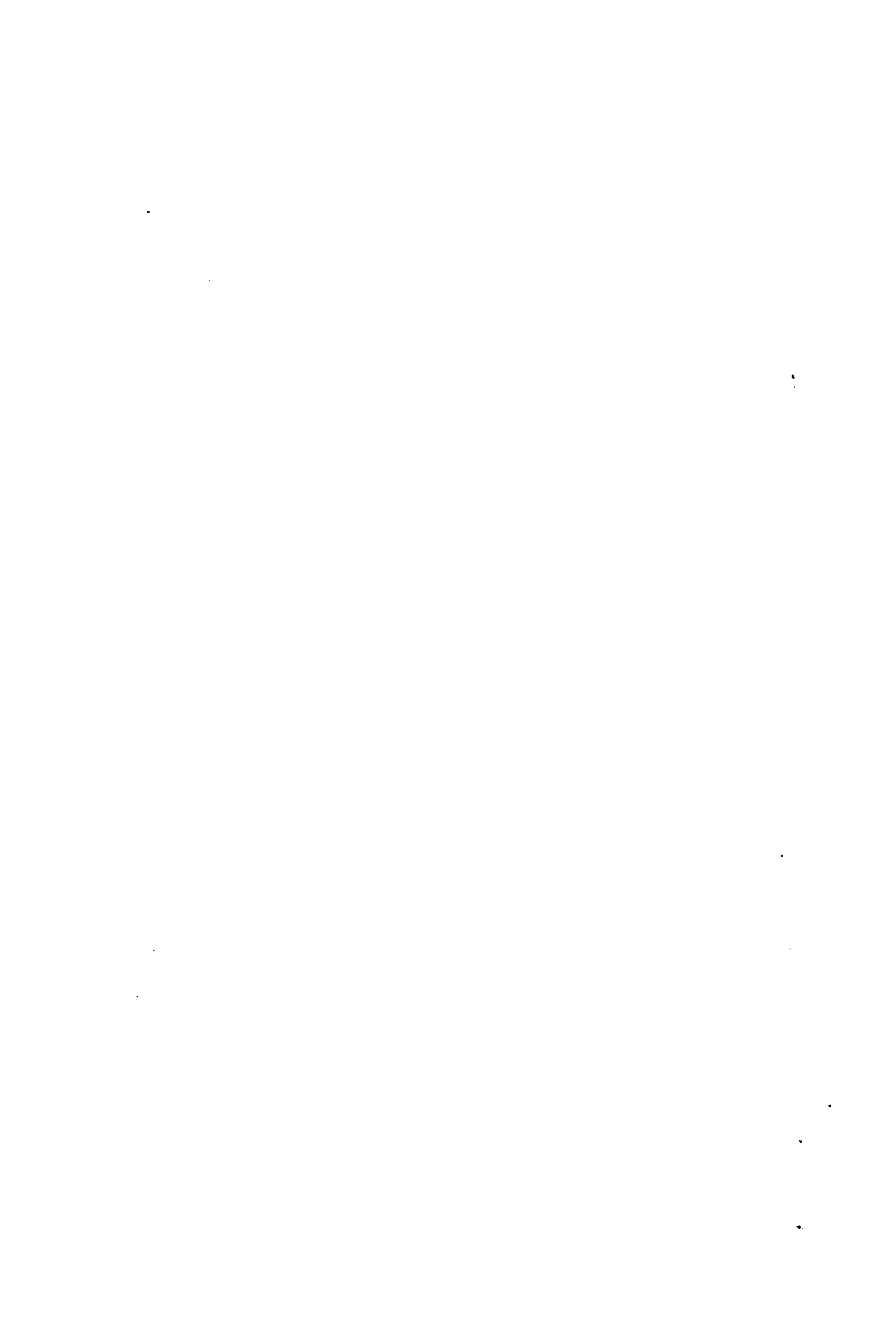
أ- ارتد نظارة الأمان الواقية. صب كوبين من الخل في كوب شفاف (يمكن أن يكون كوبًا بلاستيكيًّا لكن ليس بالضرورة). ارتد القفازات المستخدمة في أعمال الحدائق (لا بد من ارتدائها). انزع نحو بوصة مكعبة من الصوف الفولاذي الناعم، وهو ما يعادل تقريبًا (٢٠ مليلترًا) ضع الصوف في الخل ثم غط الكوب بغطاء بلاستيكي. اكتب على الكوب خلات الحديد واسمك وتاريخ اليوم. يكون المحلول قيد الاستخدام في اليوم التالي. احفظ المحلول والصوف بداخله لأنه سوف يُستخدم في تجربتين.

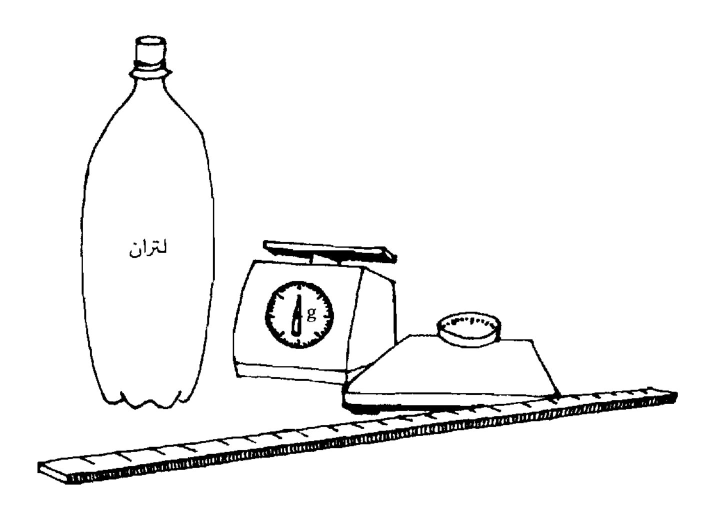
ب- احفظه في درجة حرارة الغرفة في مكان آمن بعيدًا عن متناول الأطفال والحيوانات الأليفة.

٣- دليل الكرنب الأحمر

أ- ابشر ما يقرب من نصف كوب من الكرنب الأحمر (١٢٠مليلتر)، ثم ضعها في علبة السندوتشات مع نصف كوب من الماء (١٢٠ مليلتر). سخنهم في الميكروويف لما يقرب من ٣٠ ثانية. ينبغي أن تكون العلبة ومحتوياتها ساخنة للغاية، لكن ليست لدرجة الغليان أو بالقرب منها. بعد التسخين ينبغي أن يأخذ الماء اللون الأرجواني الخفيف بسبب الكرنب، ومع العصر اليدوي الخفيف يمكن أن تزداد حمرته.

ب- تشتد الرائحة المنبعثة من المحلول الناتج وتستمر في التأجج. ولتجنب الروائح الكريهة الزائدة يمكن عمل القليل منه عند الحاجة فقط، أو تجميده إذا كان هناك متسع من الوقت، أو يمكن عمله من البرقوق الأحمر الداكن إن وُجِد. لكن الكيمياء يمكن أن تكون عملًا ذا رائحة كريهة!





نظرة على وحدات القياس

يُفضل في القياس العلمي استخدام الوحدات المترية (الجرام والسنتيمتر والمليلتر)، المقابلة للوحدات التقليدية (الأوقية والبوصة والكوب) المستخدمة في الولايات المتحدة. ومع الجهود المحمومة التي تجري في الولايات المتحدة للاتجاه نحو استخدام الوحدات المترية في المعاملات اليومية، فإن معظم الناس في الولايات المتحدة لا يزالون يستخدمون الوحدات التقليدية في الأغراض العامة. وسوف نستخدم على طول رحلتنا في هذا الكتاب الوحدات التقليدية يعقبها المقابل لها من الوحدات المترية بالتقريب بين قوسين. ولا شك أن الوحدات المترية هي مألوفة للكثيرين، إلا أنها في الوقت عينه مجهولة للكثيرين أيضًا، لذا سنقدم هنا مجموعة من المقارنات: خذ بعين الاعتبار أن السنتيمتر يعادل تقريبًا عرض مشبك أوراق صغير، والبنس يزن نحو جرامين، والمتر أطول قليلًا من الياردة، والمليلتر (مقارب تمامًا) ربع ملعقة شاي. وضع أيضًا في اعتبارك أن الأوقية تستخدم لقياس الكتلة، في حين تُستخدم الأوقية السائل لقياس الحجم، مما يذكرنا بتعقيد وحدات القياس الأمريكية، من ثم إذا كانت الوحدات المترية لا تزال غير مألوفة لديك، لا تقلق، فأي شخص تمكن من وحدات القياس الأمريكية بصعوبتها لن يكون لديه أية مشكلة مع الوحدات المترية.

لذلك نقدم فيما يلي بعض التحويلات الهامة التقريبية لوحدات القياس التقليدية الأمريكية والقياس المتري، وسنقدم أيضًا في غضون التجارب وحدات القياس المترية التقريبية المقابلة لتلك الأمريكية.

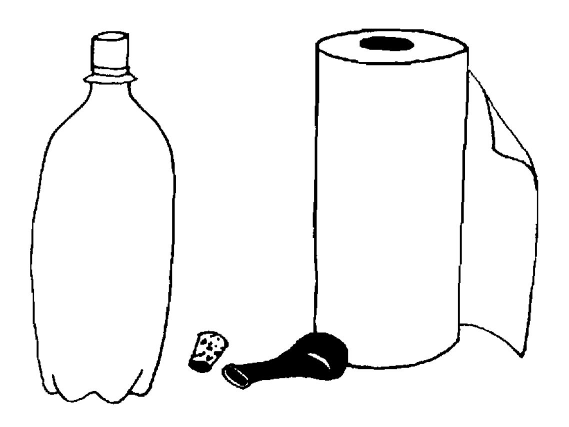
البوصة	٢,٥ سنتيمتر
الرطل	٠,٥ كيلو جرام
الكوارت	٠,٩ لتر
الأوقية	٢٨,٤ جرام
ملعقة الطعام	١٥ مليلتر
ملعقة الشاي	٥ مليلتر
الكوب	٢٣٦,٧ مليلتر
الأوقية السائلة	٢٩,٥ مليلتر

وسنتجنب الاختصارات من أجل الإيضاح ولكن سنعرض لكم بعض الاختصارات الشائعة لكي لا يفوتنا شيء:

كوب (ك) جرام (جم) لتر (ل)
متر (م) مليلتر (مل) أوقية (أق)
رطل (رط) ملعقة الطعام (ملعقة ط) ملعقة الشاي (ملعقة ش)

وعادة ما يستخدم العلماء مقياس درجة الحرارة المئوية، لكننا سنورد درجة الحرارة بكلا المقياسين المئوي والفهرنهايتي التقليدي المستخدم في الولايات المتحدة، وسنورد مقارنة لبعض مقاييس درجات الحرارة الشائعة:

	درجة حرارة الغرفة	درجة غليان الماء	درجة تجمد الماء	درجة حرارة الجسم العادية
مقياس فهرنهايت	٦٨°	٢١٢°	٣٢°	٩٨,٦°
مقياس سيليزيوس	٢٠°	١٠٠°	٠°	٣٧°



تجربة تمهيدية:
صاروخ الزجاجة والأوبليك

«كانت وجنتهم تميل إلى الحمرة كما لو كانوا تعرضوا للهب موقد شديد، وكانت أصواتهم تدوي بنبرات مرتفعة، وكانت كلماتهم تتطاير مثل سدادة الشمبانيا المندفعة بحامض الكربونيك.»

جول فيرن في كتابه «حول القمر» ١٨٧٠

لنبدأها بفرقعة بصاروخ الزجاجة:

ارتد نظارتك. اقطع من ورق الحمام قطعة عرضها نحو أربع بوصات وطولها من سبع إلى ثمان بوصات. خذ ملء ملعقة مستديرة من بيكربونات الصودا (ما يعادل ملعقتي شاي أو ١٠ مليلتر) ثم انثرها بطول الورقة من المنتصف، واترك نحو بوصة أو اثنتين من طرف الورقة خاليتين من الصودا. لف بالطول كما لو كنت تلف سيجارة. تأكد أن الصودا لا تلمس أطراف الورقة، وينبغي أن تكون اللفة رفيعة بالقدر الذي يسمح بدخولها حتى آخر زجاجة الصودا البلاستيكية، وبعد أن تلفها مباشرة اثنِ أطرافها حتى لا ينفلت المسحوق من داخلها. وعندما تنتهي ينبغي أن يبدو شكل الورقة كسيجارة أطرافها مثنية.

انزع البطاقة الخارجية لزجاجة الصودا البلاستيكية سعتها عشرون أوقية سائلة (٥٩٠ مليلترًا) واغسلها من الخارج وأزل أي ماء زائد. أحضر سدادة محكمة تناسب فتحة الزجاجة وتأكد من أنها تسد الزجاجة دون الحاجة إلى ضغطها بقوة داخل الزجاجة. لمزيد من التأكد ضع بالون حول السدادة (من الأفضل أن تضع السدادة بداخل البالون). من ثم يكون لديك سدادة مغطاة بطبقة من المطاط وفوهة الزجاجة قد سُدَّت بإحكام شديد.

صب نصف كوب (١٢٠ مليلترًا) من الخل ونصف كوب من الماء في زجاجة ثم رجها جيدًا لتخلطها معًا. يمكنك استخدام زجاجة صودا سعتها لتران إذا ضاعفت كمية الماء والخل. أضف دليل الكرنب الأحمر لذا سيكون المحلول الناتج لونه وردي فاتح. لا تضف أكثر من ملعقة طعام.

اذهب إلى مكان يُفضل أن يكون مفتوحًا حتى لا تحدث مشكلة إذا اندفعت السدادة بقوة هائلة. ضع زجاجة الصودا التي تحوي الخل في المكان الذي اخترته، واسكب منها في الأنبوبة التي تحوي لفة بيكربونات الصودا المثنية ثم أغلق الزجاجة بسرعة وبإحكام. اجعل الزجاجة منتصبة فتندفع السدادة لأعلى في وضع عمودي في الهواء وبعيدًا عن الأطفال والحيوانات والجيران، ثم ابتعد أنت. وينبغي أن يتأخر ذلك لبضع دقائق إلى أن يخترق محلول الخل الورقة، حينها سيكون هناك رغاوٍ كثيرة وفرقعة كبيرة حيث ستندفع السدادة خارجًا. وعندئذ سيتغير لون المحلول في الزجاجة من الوردي إلى الأزرق أو البنفسجي (على حسب كمية بيكربونات الصودا المستخدمة). وإذا بدا لك أن التفاعل أخذ في الخمول بعد دقيقة بدلًا من دفع السدادة لأعلى، يمكنك عندئذ أن ترج الزجاجة أو أن تضغط على السدادة من أسفل لتزحزها قليلًا، فربما تكون قد انحشرت عند الفتحة، وقد يأخذ منك الأمر عدة محاولات قليلة لتجريه بطريقة صحيحة، لكن الأمر يستحق ذلك العناء.

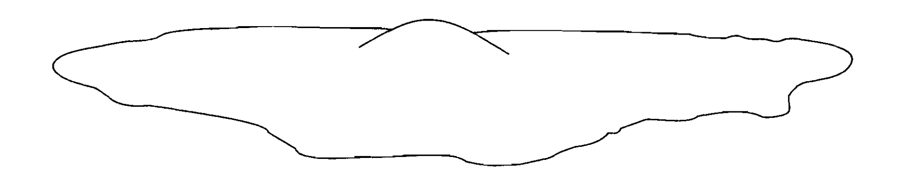
والتفاعل الذي يدفع السدادة هو:

بيكربونات الصودا + خل ← ثاني أكسيد الكربون + ماء

ولأن ثاني أكسيد الكربون غاز، فهو يميل لأن يشغل حيزًا أكبر من المحلول. ويمتلك الغاز المتمدد القوة الكافية لدفع السدادة من فوهة الزجاجة.

ويعد تصاعد الغاز مؤشرًا جيدًا لحدوث تفاعل كيميائي وكذا تغير اللون الذي يعتبر أيضًا مؤشرًا على حدوث التفاعل الكيميائي، إلا أنه في هذه الحالة، حدث التفاعل الكيميائي بدون دليل الكرنب الأحمر وبدون حدوث تغيير في اللون. وقد أُضيف دليل الكرنب الأحمر ليوضح أن التفاعل هو تفاعل حامضي قاعدي، وهو أمر سوف نناقشه فيما بعد.

ويعتبر الملمح الأساسي في أي تفاعل كيميائي هو أنك تبدأ التفاعل باستخدام مادة واحدة أو عدة مواد (والمواد التي بدأت بها هذا التفاعل هي سائل وردي حامض ومادة ملحية صلبة) فتحصل في نهاية التفاعل على نوع آخر من المواد (فبنهاية التفاعل ستحصل على سائل مائي بنفسجي اللون وغاز). وثمة دلائل أخرى على حدوث التفاعل الكيميائي مثل تغير درجة الحرارة، وانبعاث ضوء أو تُكَوِّن مادة صلبة تترسب من المحلول، وفي التجارب التالية سوف نشاهد كل هذا وأكثر. ولكن لنفهم الطريقة التي تسير بها الأمور نحتاج إلى معرفة بعض الأسس في التركيب الأساسي لهذه للمادة، وهذا ما سنبدأ به، لكن لنشرح هذا بعد تجربة واحدة أخرى، وهي تجربة «الضجيج من الأوبليك»:



ضع كوبًا (٢٤٠ مليلتر) من دقيق الذرة النشوي في وعاء صغير وأضف ثلث كوب ماء (٨٠ مليلتر). قلب باستخدام ملعقة معدنية (فالملعقة البلاستيكية قد تنكسر). سريعًا ما يصبح الخليط كثيفًا وصعب التقليب، لكن استمر في التقليب. وتتوقف كمية دقيق الذرة والماء المطلوبة بالضبط على نوع دقيق الذرة، لذا قد تحتاج لإضافة القليل من الماء أو من الذرة أيضًا، فأنت تحتاج أن تصل إلى عجينة لها تماسك الأسمنت المبلل أو عجينة خبز الذرة أو أجف قليلًا. ويساعد التقليب السريع للخليط في عملية الخلط، وعندما تنتهي تكون قد حصلت على ما يسميه مدرسو العلوم بالأوبليك، نسبة إلى كتاب دكتور سيوس Dr. Seuss «بارثولومو والأوبليك» Bartholomew and the Oobleck.[١]

حاول أن تضرب الأوبليك بقوة بالملعقة، ثم حاول أن تلتقطه بيديك. ستجد أنه يبدو صلبًا عندما تلتقطه وتضغط عليه ولكن إذا وضعته في كفك فسيبدو ذائبًا مثل الطين ويمكن أن ينصهر من بين أصابعك. وهذا هو قوام الأوبليك، فهو ليس صلبًا تمامًا أو سائلًا تمامًا، لأن دقيق الذرة يحبس الماء، مثل الإسفنج، لكن تركيب النشا أقل صلابة لذا يمكنها أن تتدفق مع الماء المخلوط معها.

حاول أن تكور بيديك قطعة صغيرة من الأوبليك وتقذفها على الأرض. ينبغي أن ترتد قليلًا ثم تضرب الأرض محدثة ضجيجًا وبقعة مثل الطين. حاول أن تقطع الأوبليك بسكينة، فستجد أنها مثل الجبن شيئًا ما، إذ تميل إلى الصلابة عنها إلى السيولة. حاول أن تشد الأوبليك بسرعة ثم ببطء. عندما ينفصل الأوبليك بسرعة فإنه يكون أشبه بالقوام الصلب، وعندما يُشد ببطء يكون أشبه بالقوام السائل.

ومع أن خواص الأوبليك تبدو مختلفة عن خواص دقيق الذرة النشوي والماء الذي يتكون منهما، فإن تكوين مركب الأوبليك لا يعتبر تفاعلًا كيميائيًّا، فهو مجرد تغيير فيزيائي، فقد احتجز دقيق الذرة الماء، ويمكن لك إزالة الماء منه بواسطة عملية بسيطة وهي أن تدعه يجف (وقد يستغرق هذا بضع ساعات). لقد تغيرت الخواص الفيزيائية لكل من دقيق الذرة والماء لكن الخواص الكيميائية لا تزال كما هي دون تغيير.

ويشبه تغيير الخواص الفيزيائية تغيير المظهر الخارجي للإنسان، فتستطيع أن تحلق شعرك أو تغير ملابسك لكنك في الأساس الشخص عينه الذي كان موجودًا من الأول. ويمكن لك أن تُبطل هذا التغيير بأن تدع شعرك ينمو مرة أخرى أو ترتدي ملابسك السابقة مرة ثانية. وبالمثل يحدث التغيير الفيزيائي لمادة مثل الماء عن طريق غليها أو تجميدها أو تقسيمها إلى أكواب منفصلة. في حين أن التغيير الكيميائي هو تغير جوهري فالمادة تتحول إلى مادة أخرى، ويُفضي التغيير الكيميائي إلى مادة جديدة لها خواص فيزيائية وكيميائية جديدة. تمثل تجربة صاروخ الزجاجة عملية تغيير كيميائي لأن الخل وبيكربونات الصودا قد تحولا إلى مواد جديدة وهي ثاني أكسيد الكربون والماء، ولن تعيد أي درجة من التجفيف بيكربونات الصودا.

ولأن معظم التغيرات الكيميائية يصاحبها أيضًا تغييرات فيزيائية، سوف نناقش كليهما، لكن تركيزنا سينصب على التغييرات الكيميائية، فكوننا كيميائيين يجعلنا بالطبع نحب حدوث ضجيج ولكن ما من شيء يضاهي حدوث الفرقعة!





مقدمة

إنها تبدأ بفرقعة ... وضجيج

«إنها الكيمياء يا أخي الكيمياء! ما من شيء يمكن أن نفعله حيالها، عليك أن تفسح الطريق للكيمياء.»

الروائي الروسي فيودور ديستوفسكي
«الإخوة كارمازوف» ١٨٨٠

«عليّ أن أذهب إلى المعمل وأمعن النظر في بعض المواد من أحماض وأملاح وقلويات. لقد أحدث حامض الهيدروكلوريك ثقبًا كبيرًا بحجم الطبق في معطف المعمل من الأمام. إذا نجحت هذه النظرية فسأكون قادرًا على معالجة هذا الثقب بالنشادر القوي، أليس كذلك؟»

جين ويبستر في رواية «صاحب الظل الطويل» ١٩١٢

بدأنا بهذين الاقتباسين لأنهما يعرضان ملاحظتين في غاية الأهمية: أولهما أنه إذا حكمنا على الأمور بعدد مراجع الكيمياء في الأدب الغربي في أواخر القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين، يتضح أن الثقافة الكيميائية كانت شائعة. فقد أظهر الكثيرون من المؤلفين الأوائل في الفترة من آرثر كونان دويل، وحتى إميلي ديكنسون Emily Dickinson — معرفة وثيقة بمبادئ الكيمياء وافترضوا وجود هذه المعرفة لدى قرائهم أيضًا. وللأسف، يتضاءل تكرار مثل هذه التلميحات للكيمياء في الأدب المعاصر، الذي ربما يُعزى لنقص الثقافة الكيميائية سواء من جانب المؤلفين أو من جانب القراء، ونحن نرى أن هذا الوضع يمكن تحسينه عن طريق إتاحة المزيد من الكيمياء حتى يتثنى للجميع الوصول إلى المعلومات الكيميائية وهو الهدف من وراء كتابة هذا الكتاب.

ويوضح هذان الاقتباسان أيضًا انجذاب بعض الناس — في الماضي والحاضر — دون غيرهم إلى الكيمياء. لماذا هذا الاختلاف؟ أثمة تنوع في خلايا المخ؟ أثمة جين كيميائي غير مكتشفٍ بعد؟ ربما، لكن في الغالب لا وجود لمثل هذه الأمور، ولعلنا نجد تعليلًا أوضح في السير الذاتية المختصرة الآتية للفائزين بجائزة نوبل في الكيمياء الذين شغفوا بها أشد الشغف:

لينوس بولينج Linus Pauling (١٩٠١–١٩٩٤) هو ابن لصيدلي من ولاية أوريجون الأمريكية وقد شارك أحد أصدقائه في استعمال مجموعة أدوات كيميائية عندما كان في الرابعة عشرة من عمره.[٢]

ماريو مولينا Mario Molina (١٩٤٣–) الذي تملكه القلق بشأن كيمياء الغلاف الجوي وقد حمله عمله لأن يجوب الكرة الأرضية، وقد ساعدته عمته على أن يقيم معملًا في الحمام في بيت طفولته في مكسيكوسيتي.[٣]

دوروسي هودجكين Dorothy Hodgkin (١٩١٠–١٩٩٤) كيميائية بريطانية لأب عالم آثار وأم عالمة نبات. قامت بإنماء البلورات وهي في العاشرة مستخدمة مجموعة أدوات الاختبار الكيميائي للتربة.[٤]

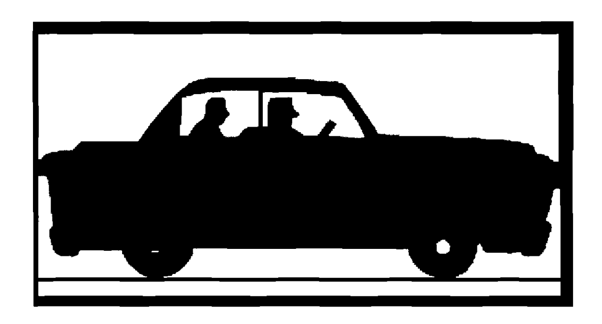
واستخدم العالم الأمريكي روبرت كارل Robert Curl (١٩٣٣–) المولود في ولاية تكساس وهو صغير، المواد الكيميائية في العبوة الكيميائية التي أهداها إياه والداه في الكريسماس، وبعد أن استنفذها نجح في العثور على صيدلي متعاطف معه ليعيد إمداده بالمواد، وقد أعاد والداه النظر في

جدوى هذه الهدية حينما لاحظوا أنه يقوم بتغيير الغطاء المصنوع من الخزف الصيني الذي يزين موقد والدته مع كل مخزون جديد من المواد الكيميائية.[٥]

وليس هناك جينات مشتركة بين هؤلاء، لكن ربما يكون هناك بعض الخصال الأخرى المشتركة بينهم. وقد يبدو للمرء أن هؤلاء الكيميائيين (كالكثيرين غيرهم) قد اتخذوا الكيمياء وسيلة للتسلية في المقام الأول. أيعني هذا أنه لكي تقدر الكيمياء حق قدرها وأنت بالغ، كان يجب عليك أن تختار والدين يهديانك مجموعة كيمياء وأنت صغير؟ لا. لم يفت الأوان بعد لتتمتع بروعة الكيمياء. لقد اتسم كل من ذكرناهم من الحاصلين على جائزة نوبل في الكيمياء وهم صغار بفضول عظيم، وإذا التقطت هذا الكتاب ستتمتع أنت أيضًا بهذا الفضول، وأملنا هو أن تشبع هذا الفضول. ونحن نفخر أن نقدم لك في هذا الكتاب مجموعة كيميائية متكاملة واقعية للكبار مع التجارب، لكن الفارق الكبير بين منهجنا ومنهج معظم الكتابات الكيميائية الأخرى هو أن النتائج مشروحة والتجارب متكاملة من أجل توضيح وتفسير علم الكيمياء. وسنقدم وصفًا للنتائج المتوقعة مع كل تجربة بالإضافة إلى شرح المبادئ الموضحة، ومن ثم يتثنى للقارئ أن يختار أن يتمتع بالكتاب دون أن يجري كل الإجراءات المعطاة أو أيها في التجارب، لكنه قد يصعب مقاومة إغراء المشاركة في المرح حيث تسمع أصوات الفرقعة والأصوات المدوية الأخرى.

وقد يفهم ضمنيًّا أيضًا من السير الذاتية المختصرة السابقة أن الكيميائي الناجح ينبغي أن يكون لديه، وهو طفل، مرشد أو رفيق يناقش معه فنون الكيمياء. أيعني هذا أنه ينبغي أن يكون لديك مجموعة حوار لتقدر مبادئ الكيمياء؟ ليست بالضرورة؛ فقد قدمنا ضربًا من الصحبة العملية في قسم «**على سبيل المثال**» الذي يقدم مقالات لمواضيع وثيقة الصلة للنظرية الكيميائية التي تُناقش، وقد ألحقنا هذا الجزء لنساعد القارئ على القيام بعمليات ربط بديهية مع مفاهيم الكيمياء وأن يمحو الفكرة القائلة بأن الكيمياء غير موجودة بدرجة ما في خبرات الحياة اليومية.

خذ على سبيل المثال، خبراتنا البسيطة مع قيادة السيارات؛ ما علاقة الكيمياء بالسيارات؟ كما هو جلي، ثمة الكثير بين الكيمياء والسيارات.



مثال تقديمي: الكيمياء والسيارات

سنقدم طوال هذا الكتاب الكيمياء في مواقف متنوعة من أساليب الطهي وحتى طرق الكشف عن الجرائم، وسيجول بنا أول مثال في قسم الأمثلة، على سبيل المثال، جولة سريعة في موضوعات عدة سيجري تناولها في هذه الصفحات وتوضيحها باستخدام صورة للتكنولوجيا الحديثة، وهذه الصورة هي السيارة!

يتكون كتاب «روعة الكيمياء» من جزئين: يعرض أولهما المبادئ الأساسية للكيمياء، في حين يدرس ثانيهما بعض المجالات المتخصصة في الكيمياء التي تُطبق فيها هذه المبادئ. ويقدم الفصل الأول والثاني من الجزء الأول التركيب الذري، بصحبة أفضل صديق للكيميائي وهو الجدول الدوري. ويحدد التركيب الذري كما يعكسه الجدول الدوري تركيب المركبات الكيميائية، مثل تلك التي تشترك في تكوين هيكل وطاقة محرك الاحتراق الداخلي الذي يعتمد على البنزين. ويتماثل نوع التفاعل المسئول عن تشغيل هذا المحرك مع نوع التفاعل الذي يوفر المعدن الذي يدخل في تركيبه — تفاعلات الأكسدة والاختزال — التي سوف نتناولها في الفصل الثالث. وسنشرح الارتباط بين الكيمياء وعوادم السيارة في الفصل الرابع الذي يمعن النظر في كيمياء الأحماض والقواعد. وسنختبر الكيمياء التي تسد مبرد السيارة (رادياتير السيارة) في الفصل الخامس لدى شرح تفاعلات الإزاحة. أما خواص العديد من المواد التي تتكون منها السيارة ما هي إلا نتيجة للروابط الكيميائية التي سوف نناقشها في الفصل السادس. ويدور الفصل السابع حول التحكم في التفاعلات الكيميائية المختلفة التي تحدث داخل السيارة والتي تحكمها مبادئ التفاعلات الكيميائية، وكذلك التنبؤ بنتائج هذه التفاعلات. وفي الفصل الثامن سنشرح خواص شحوم التزييت المستخدمة

في السيارات في ضوء القوى البينجزيئية. ويدور الفصل التاسع حول تركيز المخاليط التي تعنى بأنظمة مثل المخنقة والمبرد وحتى البطارية. أما في الفصل العاشر والحادي عشر فنتناول التفاعل الاحتراقي الذي يحول الجازولين إلى غاز، وخواص الغاز الذي يدفع المكبس حيث نصف مرحلة الحالة الغازية للمادة والتفاعلات الخاصة بهذه المرحلة.ويتناول الفصل الثاني عشر وصف الحالة الصلبة للمادة وكيمياء السطح ويدخل في نطاقه الصابون والمركبات الخافضة للتوتر السطحي والمستخدمة في عمليات غسيل وتشميع السيارات. ويغوص الفصل الثالث عشر، الذي يدور حول موضوع الديناميكا الحرارية، في المبردات التي تديرها السيارات. ويتركز موضوع الفصل الرابع عشر حول كل المعادن، إذ يبحث في التغييرات المرحلية للمواد النقية وللمخاليط. وبعد قراءة الفصل الخامس عشر حيث يُناقش التوازن الكيميائي، سيكون القارئ أكثر قدرة على استيعاب سبب تحول كل الجازولين إلى غاز. ويمكن تطبيق الخواص المترابطة للمحاليل الموضحة في الفصل السادس عشر على إذابة الجليد المتراكم على الطرق واستخدام موانع التجمد في مبردات السيارات. ويرتبط علم الحركة الكيميائي بطقطقة المحرك والمحولات التحفيزية وهذا ما سنتناوله في الفصل السابع عشر. وتُلقي مناقشة الكيمياء الضوئية والكيمياء الكهربية الضوء في الفصل الثامن عشر على طلاء السيارات ثم الطلاء بالكروم في المرحلة الأخيرة من الطلاء.

وسوف نلقي نظرة في الجزء الثاني من الكتاب على المجالات المتخصصة في الكيمياء، وسوف نرى أيضًا أن هذا المجال وثيق الصلة بالحياة اليومية وبالقيادة اليومية للسيارات. ويتحدث الفصل الأول من الجزء الثاني عن الكيمياء العضوية التي عن طريقها يجري تحويل المزيج الغني بالبترول إلى بلاستيك وبوليمرات بحيث يمكن أن تستخدم في التجهيزات الداخلية للسيارات إلى جانب صناعة العدد والخراطيم والإطارات. وتواجه الكيمياء العضوية اليوم تحديًا من نوع جديد يتمثل في تطوير المواد المتماثلة من مواد خام جديدة سواء كانت هذه المواد كتلًا حيوية أو مواد أُعيد معالجتها؛ مما يعد تحديًا مثيرًا وشيقًا لعلماء الكيمياء المبدعين. وكما سنرى في الفصل الثاني من الجزء الثاني فإن علماء الكيمياء غير العضوية لديهم عدد كبير من المواد في الجدول الدوري ليختاروا من بينها، وهم في ذلك يواجهون تحديات عظيمة. وسيفضي

أخذ أعمالهم بعين الاعتبار بنا إلى مناقشة عن الفوائد التي يمكن أن نجنيها من خلايا الوقود في المستقبل، وكيفية عمل منظفات مبرد السيارة في الوقت الحالي.

وتتناول اهتمامات علماء الكيمياء الحيوية، كما هو مسطر في الفصل الثالث من الجزء الثاني، أكثر مكونات السيارة خطرًا وهو من يجلس أمام عجلة القيادة مباشرة ونعني به الإنسان. لكن المخاوف تنتابهم أيضًا بشأن مصادر المواد البديلة التي تُجنى من المحيط الحيوي والتحكم فيها. وندرس في الفصل الرابع من الجزء الثاني جهود الكيميائيين التحليليين ونجد أن هذه النفوس الجسورة قد استمدت بعض الملامح من كل الأنظمة السابق وصفها، وهذه هي وظيفة الكيميائيين التحليليين؛ أن تشهد بثبات وجودة الكثير من المواد بما فيها المواد المستخدمة في السيارات، وفي بعض المراحل تشهد بثبات وجودة الحياة البشرية كما سنرى عندما ندرس إسهامات هذا المجال في كشف الجرائم تمامًا كإسهاماته في مجال السيارات. أما في الفصل الخامس فسنحدق في كرتنا السحرية لنرى مستقبل الكيمياء، لنرى عالمًا مليئًا بالمصادر والمواد الجديدة، وبلا أدنى شك ستقود هذه المواد الجديدة لاختراعات جديرة بالاعتبار وبالطبع لسيارات جديدة!

أمستعدون؟

لنزيح الستار ونرى ...

الباب الأول





مقدمة

النظريات والثمانيات الموسيقية والمقاييس

تُوصف الكيمياء، شأنها في ذلك شأن الموسيقى والأدب، في ضوء عناصرها، وتحظى الكيمياء بنظرية تقوم على مبادئ أساسية. ومثل الموسيقى والأدب، ثمة الكثير في الكيمياء مما يمكن النظر إليه باعتباره فنًّا أيضًا، ويشبه النظر في الطبيعة النظر في المرآة، ونحن نفسر ما نراه في ضوء خبراتنا ومن منظورنا الخاص، وتمثل مبادئ الكيمياء محاولة لرسم نظام معتمد على الطبيعة، ويمكن أن يوسم هذا النظام ببعض الغموض وأن يكون قادرًا على ضم الشواذ للقاعدة. ولقد تغيرت عبر السنين الذخيرة الأساسية من النماذج والطرق الفيزيائية التي تسمح لنا أن نصف سلوك مجموعة كبيرة من المواد ذات مدى كبير من الخواص ونفهمه ونتوقعه. لذا سوف نبدأ بأساسيات هذه النظرية، فعلى سبيل المثال، جميعنا يعرف أن الكيميائيين يستخدمون المقاييس، لكن أتعلم أنهم يفكرون في الثمانيات الموسيقية أيضًا؟ سوف نعلم السبب، في الجزء الأول من روعة الكيمياء هذا.





التجربة الأولى: الساحرة والماء

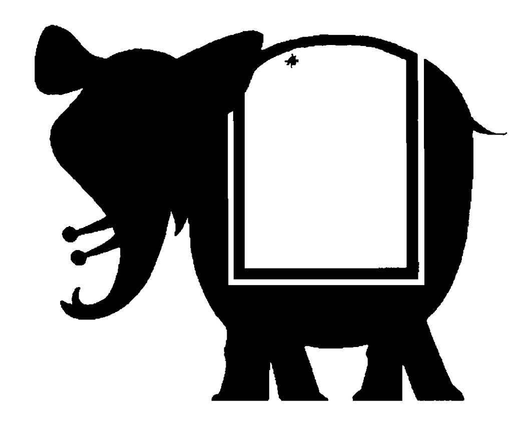
«لقد كان يجري بعض الحسابات بلا توقف طيلة أيام لكنها كانت جميعها بلا جدوى ... وقد خلص أخيرًا إلى أن الطريق الوحيد لإثبات ذاته هو أن يخوض النيران ... وأن يراقب خطواته ليكتشف فضائلها وزلاتها ... ولكي يحصل على إجابة للسؤال الذي يحيره ينبغي أن يكون لديه اللهيب والدماء والخطر، حتى إنه ككيميائي ينبغي أن يتمتع بهذه وتلك وغيرها.»

ستيفن كران في كتابه «شارة الشجاعة الحمراء» ١٨٩٥

خذ ملعقة بلاستيكية وحكها في شعرك أو في سترة صوفية إلى أن تكتسب الملعقة شحنة كهربية إستاتيكية، ويمكن الاستدلال على ذلك بجذب الملعقة للشعر أو الخيوط التي على السترة، ثم افتح الصنبور قليلًا حتى يكون هناك سيل رفيع من الماء وقرب الملعقة منه تجد أن سيل الماء ينحرف، ماذا حدث إذن؟ لقد حدث انتقال للإلكترونات؛ لأن الاحتكاك يسبب انتقال الإلكترونات من مادة إلى أخرى، إذا كان لإحداها قدرة أكبر على جذب الإلكترونات. معظم المواد البلاستيكية لديها قدرة قوية على جذب الإلكترونات أكبر من قدرة

الشعر والملابس، لذلك يكون اتجاه الانتقال غالبًا من شعرك أو من السترة الصوفية إلى الملعقة حيث يُسمح للملعقة أن تكتسب شحنة سالبة.[١] وقد تكون الشحنة موجبة إذا كان الانتقال في الاتجاه الآخر، لكن سيكون له التأثير عينه على سيل الماء، فالماء يتكون من ذرات من الهيدروجين والأوكسجين اللذين يحتويان على إلكترونات سالبة في السحب الإلكترونية المحيطة بالنواة المشحونة بشحنة موجبة. ولأسباب سوف نكتشفها بعد قليل نجد أن السحابة الإلكترونية المحيطة بالنواة تتصف بتوزيع غير منتظم للإلكترونات، فأحد طرفي جزيء الماء يكون أكثر سالبية من الطرف الآخر، ولما كانت الشحنات المختلفة تتجاذب والمتشابهة تتنافر، فإنه عند الاقتراب من المجال الإلكتروني السالب للملعقة البلاستيكية تنحرف أطراف جزيء الماء السالبة بعيدًا عن الملعقة، أما الأطراف الموجبة فتنحرف نحو الملعقة وهو ما يجذب الماء والملعقة معًا.

ولكي ترى فكرة الإلكترونات الساحرة، واصل القراءة.



الفصل الأول

الإلكترونات والذرات، أو الفيلة والبراغيث

«إن علمنا لهو علمٍ حسي ...»

رالف والدو إيمرسون ١٨٣٠

لا يلمح إيمرسون في الاستشهاد السابق أن العلم متعلق بالحس الجسدي، إنما يعني أننا نبني نظريتنا العلمية على مدخلات حواسنا الخمس: اللمس والتذوق والسمع والنظر والشم، لكن عندما يتعلق الأمر بالنظريات التي تدور حول الذرة، تُخفق حواسنا. فنحن لا يمكننا أن نرى ذرة واحدة، أو نتذوقها أو نشعر بها أو نسمعها أو نشمها، وإذا قام أحدهم بضربنا على رأسنا بذرة واحدة من التنجستين (وهي ذرة غاية في الضخامة بالنسبة لباقي الذرات)، فإننا لن نشعر مطلقًا.

وما يجعلنا غير مدركين لوجود ذرة واحدة هو أن الذرة الواحدة غاية في الصغر، فقد تصطف نحو عشرة ملايين ذرة مفردة لتصل إلى طول حبة الأرز، والأجزاء التي تتكون منها الذرة هي في منتهي الصغر. وتتكون النواة أو مركز الذرة من البروتونات والنيترونات، ويساوي نصف قطر البروتون تقريبًا

فيمتومتر الذي يعادل واحدًا على كدريليون من المتر أو لتبسيطها يساوي نصف قطر البروتون واحد على مليون من واحد على بليون من المتر، يا له من حجم شديد الصغر! وتبلغ كتلة كل من البروتون والنيترون نحو واحد على سبتليون من الجرام (واحد على تريليون من واحد على تريليون من الجرام)، وهذا حجم شديد الصغر بأية معايير. وتقل كتلة الإلكترون نحو ألفي مرة عن كتلة البروتون والنيترون، فحجم الإلكترون بالنسبة لحجم البروتون كالبرغوث بالنسبة للفيل، وبالطبع البروتون هو الفيل، وعندما تحسب كتلة الفيل، احذر من أن تضيف كتلة البراغيث الموجودة على جسم الفيل، وكذلك الحال عندما نحسب كتلة الذرة، لا نضيف كتلة الإلكترونات.

والسؤال الذي يطرح نفسه هو إذا كانت جسيمات الذرة غاية في الصغر لدرجة أننا لا يمكننا أن نستخدم حواسنا لنكتشفها، كيف لنا أن نعرف بوجودها؟ الجواب هو بالاستدلال والاستنتاج؛ فلقد تعلمت البشرية منذ وقت طويل أن مدخلات الحواس يمكن خرقها، وما أكثر ما خُدِعَ البصر والشم واللمس! ومن ثم فلكي تُكْتَشَف طبيعة أجزاء العالم التي لا يمكن شمها أو لمسها أو رؤيتها، تعلم الناس أن ينظروا للتأثيرات غير المباشرة ويستنتجون الأسباب من ورائها. لقد اغتنم العالم المبجل إيرنست رازرفورد المفهوم جيدًا في النصيحة التي أسداها لجيمس تشادويك James Chadwick حينما كان تشادويك يبحث عن دليل على وجود النيترون، فقد سأله رازرفورد قائلًا:

> «كيف يمكنك العثور على الرجل الخفي في زحمة مرور ميدان بيكاديلي الشهير في لندن؟ ... ثم أجابه قائلًا: «من طريق رد فعل هؤلاء الذين نحاهم جانبًا.»[٢]

وبالمثل أعلن جي. جي. طومسون J. J. Thomson، بعد أن وصل إلى بعض الاستنتاجات من الأعمال التي أجراها بنفسه وأعمال الآخرين، عن وجود الإلكترونات عام ١٨٩٧م. وعُيِّن للإلكترون شحنة سالبة بإجماع الآراء، واستطاع طومسون تحديد كمية الشحنات في الكتلة المعطاة من الإلكترونات من انحراف شعاع الإلكترونات في مجال مغناطيسي.[٣]

ويسبب هذا التفاعل الذي يحدث بين الإلكترونات والمجال المغناطيسي تشويش صورة التليفزيون في حالة وجود مغناطيس، إذ ينحرف شعاع

الإلكترونات الموجود في أنبوبة أشعة الكاثود، التي تسبب حدوث التفسفر (الوميض الفسفوري) على الشاشة، في وجود مجال مغناطيسي قريبًا منها، وبالطبع لا ينبغي للفرد أن يقرب مغناطيسًا من شاشة التليفزيون، إلا إذا كان يستطيع الاستغناء عنه، فهذا التفاعل يمكنه أن يسبب تلفًا دائمًا لمكونات الجهاز، أما إذا كان لدى الفرد جهاز يمكن الاستغناء عنه، فإنه سوف يستمتع أيما استمتاع بمشاهدة تأثيرات مثيرة.

لكن طومسون لم يحدد الطبيعة الذرية للمادة بطريقة لا تُدحض، فقد صمدت حتى ١٩٠٩م حينما قدم جين برين الدليل القاطع بشأن الذرات، عندما قاس حركة جزيئات لقاح بالغة الصغر عالقة في الماء، ويمكن شرح ملاحظته المفصلة لهذه الحركة البراونية (سميت الحركة البراونية نسبةً إلى عالم النبات روبرت براون Robert Brown) إذ افترض أن الذرات المتحركة تدفعها ذهابًا وإيابًا، وقد أقنعت ملاحظاته المجتمع العلمي بصلاحية النموذج الذري، وبلا شك، استخدم النموذج بنجاح قبل برين ولكن من الجيد وجود مثل هذا الإثبات الرائع.[٤]

وفي عام ١٩١٠م، أدرك رازرفورد وجوب تألف الذرات من نواة مركزية كثيفة محاطة بفراغ فسيح، وقد أطلق بعض الجزيئات في حجم الذرة علي صفيحة رقيقة جدًّا من الذهب ووجد أن معظم الذرات اخترقت رقائق الذهب لكن عددًا قليلًا ارتد للوراء، وقد علق رازرفورد على ذلك في عبارات طريفة كعادته قائلًا: «لقد كان الأمر ... كما لو أطلقت قذيفة قطرها خمس عشرة بوصة على منديل ورقي ثم ارتدت من هذا المنديل واصطدمت بك.»[٥]

ورجح رازرفورد أن هذه النواة التي تقع في مركز الذرة مكونة من جزيئات محتشدة بكثافة وذات شحنات موجبة. ثم استكمل بعدها مباشرةً هنري موسلي Henry Moseley — قبيل مصرعه المبكر في جاليبولي في غضون الحرب العالمية الأولى — تجارب الاستدلال على هذه الجزيئات، التي هي البروتونات.[٦] أما الجزيئات الأخرى في النواة وهي النيترونات فقد وُجدت صعوبات أكثر قليلًا لإثبات وجودها بسبب انعدام شحنتها. لكن جيمس شادويك عمل بنصيحة رازرفورد وأثبت أخيرًا وجودها عام ١٩٣٢م، فقد قاس شادويك ارتداد إشعاعات معينة من النيتروجين والهليوم ووجد أنها تتوافق مع الجسيمات المتعادلة التي لها تقريبًا نفس كتلة البروتون.[٧]

وقد استغرق الأمر حتى ثلاثينيات القرن الماضي لاكتشاف كل أجزاء الذرة مما أظهر كيف كان الأمر عسيرًا، وحتى ظهور كل الأجزاء لا يزال لم يحل اللغز بعد، فثمة سمات أخرى للذرة — ناهيك عن حجمها — تثير الحيرة، ومن إحدى هذه السمات كثافة النواة، وتساوي كثافة المادة كتلة الحجم المُعطَى، فعلى سبيل المثال، يكون لمكيال من الريش ولآخر من الحصاة نفس الحجم ولكن الكتل تختلف حتمًا. فمكيال الحصاة أثقل من مكيال الريش ومن ثم كثافته أكبر، وقد ذكرنا أن رازرفورد وجد أن الذرة محتشدة بكثافة لكننا لم نصرح بمقدار هذه الكثافة، لقد اتضح أن النواة، مع أبعادها المتناهية الصغر، فإنها تحتوي على مليون تريليون جرام في السنتيمتر المكعب الواحد، وبمقارنة هذا بكثافة الرصاص على سبيل المثال — التي تقترب من إحدى عشر جرامات في السنتيمتر المكعب — نجد أن الفرق يكمن في أن النواة تتكون من جزيئات محتشدة قريبة بعضها من بعض، في حين أن الذرة تكاد تكون فارغة. ويمكن تطبيق هذه المقارنة على الأرض والشمس، فإذا كانت نواة ذرة الرصاص هي الأرض، تعادل المسافة لأقرب إلكترون تقريبًا المسافة التي بين الأرض والشمس، بمعنى أن معظم الذرات هي مجرد فراغ، فإذا كنت تضع النوى وحدها في وعاء، فسيكون الأمر كما لو وضعت قطعًا صلبة من الرخام، وحينما تضع ذرات الرصاص في وعاء، فإنك في الحقيقة تكون كمن يصنع فقاعات من الفضاء الفارغ.

والسؤال الذي قد يطرأ على الذهن على الفور هو: إذا كانت المادة تتكون من فقاعات دقيقة، فلماذا إذن لا نسقط في برك من الماء والطين؟ توجد إجابة غير مرضية وهي أن الإلكترونات تبقي حيثما تكون لأنها توجد في مدارات حول النواة، لكن قد يعترض أحدهم قائلًا: «إذا كان للإلكترونات شحنة سالبة وللبروتونات شحنة موجبة، لماذا لا تتجاذب هذه الشحنات المختلفة ولماذا لا تصطدم الإلكترونات بالبروتونات؟»

وكما هو واضح، هذا السؤال ليس سؤال تافهًا وإنما هو سؤال يستحق الاهتمام.

في أوائل القرن العشرين، ساعد العالم الشهير نيلز بور Niels Bohr في شرح الإجابة على هذا السؤال عن طريق توضيح أن الإلكترون مادام يتحرك فيمكن له أن يظل بعيدًا عن البروتون. ونستطيع أن نجري تشبيهًا آخر بالأرض

والشمس؛ تجذب الجاذبية الأرضية هذين الجسمين معًا، إلا أن الأرض عن طريق التحرك في مدار خاص بها، يمكنها أن تستمر في الانحدار نحو الشمس لكنها لا تسقط فيها على الإطلاق. وبالمثل يمكن تطبيق الصورة نفسها على الإلكترون، فيمكن أن نعتبر أن الإلكترون يدور حول النواة ومن ثم ينجذب نحوها وليس فيها.

ومما لا شك فيه، أن القارئ لاحظ في الفقرة السابقة بعض العبارات المقيدة، مثل «ساعد نيلز بور في شرح» ولم نقل: شرح نيلز بور، و«يمكن أن نعتبر أن الإلكترون يدور» وليس «يدور الإلكترون ...»، وهذا المبدأ ضروري للغاية لأن التشابه ليس سوى مجرد تشابه، وهذا التشابه يعمل فقط عند المستوى الأولي النظري، ويتراجع التشابه سريعًا عندما يتطلب الأمر أي قدر من الدقة، ولن يكون لدينا أي تشبيه غاية في الدقة لأن علم الفيزياء عند المستوى الذري يختلف تمامًا عن علم الفيزياء الذي نلاقيه في حياتنا اليومية.

وهكذا، ومع هذا الرأي السابق فسوف نعرض بنية الذرة تمامًا كما هي مفهومة في الوقت الحالي، ولنلاحظ أولًا الملامح الرئيسية التي تشيع معرفتها: تتكون النواة التي هي مركز الذرة من جسيمات مشحونة بشحنة موجبة تسمى البروتونات وجسيمات منعدمة الشحنة متعادلة تسمى النيترونات، أما الإلكترونات، كما هو معروف للكافة، فهي جسيمات ذات شحنة سالبة تدور في مدارات حول النواة.

ويستخدم مصطلح «المدار» هنا مجازيًّا وليس حرفيًّا، ومع أن الصورة العامة هي لإظهار الإلكترونات وهي تدور حول النواة مثل القمر الصناعي، فإن الفراغ الذي تشغله الإلكترونات لا يمكن وصفه بدقة، وأفضل ما نستطيع أن نقدمه هو أن نصف منطقة غائمة ونعتبر أن الإلكترون موجود فيها، وللتأكيد على هذا الاختلاف، سنطلق على الفراغ الذي تشغله الإلكترونات حول النواة «مداريات» Orbital وليس مدار Orbit. وهذه المداريات قد تكون كروية الشكل، مثل تلك الأثقال المستخدمة في لعبة رفع الأثقال، أو تأخذ شكل تراكيب معقدة من حلقات وفصوص، لكني أود أن أؤكد مرة أخرى على أنه لا شيء في خبراتنا العامة بالفعل يشابهها تمامًا، من ثم لا تعد التشبيهات كاملة.

وتسوء المشكلة عندما يكون هناك أكثر من إلكترون في المناقشة، وهو ما يحدث مع كل عنصر يلي الهيدروجين، والإلكترونات هي جسيمات لها شحنة،

والجسيمات التي لها شحنة تميل لأن ينجذب بعضها لبعض إذا كان لها شحنات مختلفة ويتنافر بعضها عن بعض إذا كان لها نفس الشحنة، وخير مثال على هذا هو المجال المغناطيسي؛ فالأقطاب المختلفة للمغناطيس تتجاذب والمتشابهة تتنافر. ويصبح الموقف أكثر ظلمة مع الذرة حيث لا توجد تفاعلات شبه مغناطيسية بين إلكترون وإلكترون أو بين إلكترون وبروتون، لكن هناك كم هائل من الشحنات السالبة والموجبة التي يتفاعل بعضها مع بعض. وقد شبه الفيزيائي أنريكو فيرمي Enrico Fermi الحاصل على جائزة نوبل الموقف في إحدى المرات بقوارب تتمايل في الميناء، نحن نعلم بالبديهة أن حركة أحد القوارب تؤثر على باقي القوارب الأخرى والعكس، لكن بطرق غاية في التداخل والتعقيد لدرجة أنه لا يمكن التنبؤ بالحركة الأخيرة لأي قارب من القوارب في أي وقت.

ويطلق من يدرسون مثل هذه الأمور (علماء ميكانيكا الكم النظريون) على هذه المسألة اسم «مشكلة الأجسام الثلاثة»، فحينما يكون لديك جسيمان في وضع متحرك وينجذب أحدهما نحو الآخر، يمكنك أن تصف الموقف في معادلة، لكن حينما يكون لديك ثلاث جسيمات بينها انجذاب وتنافر وجميعها في وضع متحرك يحدث الكثير جدًّا من الأشياء في معادلة واحدة دقيقة، وتكمن المشكلة في أنه مع وجود إحدى السحب الإلكترونية واستطاعتنا الإشارة إليها وقياسها، فإننا لا نستطيع أن نتنبأ سلفًا بالمكان الذي سوف تستقر فيه أو بالشكل الذي ستأخذه؛ فثمة عوامل كثيرة ومتغيرات عديدة بعضها غير معروف أو لا يمكن التعرف عليه، فالمشكلة تكمن في لب منهاج الاحتمالية المتعلق بالتركيب الذري.

ولكن من حسن حظك أنك غير مُضطر لأن تعرف موقع كل سحابة كي تتنبأ بحالة الطقس.[٨] وبالاستناد على منهاج الاحتمالية، تستطيع نظرية ميكانيكا الكم أن تفسر بدقة الكثير من خواص الذرات والجزيئات وطرق تفاعلها، بل تتنبأ بها. وقد أصبح بوسع العلماء أيضًا فهم وحش صغير والتعامل معه، وهو الأيون. والأيون هو ذرة أو جزيء فقد بعض الإلكترونات أو اكتسب مزيدًا منها، مثلما حدث مع الملعقة البلاستيكية في تجربة الساحرة والماء عندما اكتسبت بعض الإلكترونات. ويعني وجود القليل جدًّا أو الكثير جدًّا من الإلكترونات أن الشحنة الموجبة للبروتون غير متوازنة وأن الأيون له شحنة موجبة صافية أو سالبة صافية، وفي حالة الملعقة البلاستيكية، نجد

أن الإلكترونات قد انتقلت بالاحتكاك للملعقة واكتسبت الملعقة شحنة سالبة صافية، وثمة أشياء أخرى مشحونة تقدر على أن تؤدي خدعًا أخرى رائعة، مثل آلة التصوير المعجزة.



على سبيل المثال: البروتونات والنسخ الفوتوغرافية

أعرف أن البعض سيراها مغالاة أن نطلق على آلة التصوير اسم معجزة، أما الذين تعاملوا مع آلة تصوير المستندات، فيكون مصطلح معجزة غير معبر على الإطلاق. وتنتمي آلات التصوير إلى عصر المعلومات تمامًا مثل الحاسوب والهواتف الخلوية التي تعمل عن طريق الأقمار الصناعية، فمع التقدم في وسائل الرفاهية والبرمجة الخاصة بآلات تصوير العصر الحديث وأيضًا المزايا التي تتيح للمرء نسخ وترتيب النسخ المصورة وتكديسها وتجليد الورق بسلك وتدبيسه بالدبابيس المعدنية وتخريمه، فإن التكنولوجيا التي تكمن وراء ذلك لهي غاية في الدقة. والمبدأ الرئيسي الذي تقوم عليه عملية التصوير هو التجاذب الإستاتيكي للشحنات، وتعتبر أجزاء ماكينة التصوير مألوفة لكل من استخدم هذه الآلة لأي مدى، لأن كل من استخدم هذه الماكينة تعرض يومًا ما لمشكلة انحشار الأوراق وتعين عليه أن يفتح الماكينة من أجل إزالة الورق المحشور، وإذا كنت بطريقة ما لم تتعرض لهذه الخبرة، فاذهب ببساطة

إلى أحد الماكينات وافتحها لتتعايش مع أجزاء عملها الداخلية: نجد داخل آلة التصوير أسطوانة تُسمى الدرام Drum تلف حول محور ثابت، ومصدرًا ضوئيًّا متحركًا، وحبيبات دقيقة من بودرة سوداء هي حبر مجفف Toner، ومصدر تسخين، ونظامًا محكمًا للبكرات.

أول خطوة في عملية النسخ هي اكتساب الأسطوانة لشحنة إلكتروستاتيكية متساوية وموزعة، وتزيد الطريقة المستخدمة في ذلك في براعتها قليلًا عن تلك التي للملعقة لكي تكتسب شحناتها الكهروستاتيكية في تجربة الساحرة والماء، لكن الفارق في الروعة بين الطريقتين هو فارق طفيف، فعن طريق هذه الشحنات الكهروستاتيكية، تستطيع الأسطوانة أن تجذب مسحوق الحبر، تمامًا مثلما جذبت الملعقة الماء في تجربة الساحرة والماء، لكن إذا كانت هذه هي آخر خطوة، عندئذ ستكون الورقة الناتجة ورقة سوداء تمامًا، وهو ما لا نرغب فيه بالطبع، ولإتمام عملية التصوير يمر ضوء ساطع جدًّا وقوي تحت الورقة لكي تُصور.

ويستخدم الضوء لأنه يتفاعل مع المادة بطريقة مستمرة كما سنرى، ففيلم الكاميرا يتفاعل مع الضوء ليُكَوِّن الصورة، وتسجل أجهزة الاستشعار الرقمية مستويات الضوء في الكاميرا الرقمية، ويكتشف المجس الضوئي وجود شخص في شعاع الضوء فيسمح للباب بأن ينفتح، ويُمتص الضوء عندما يصطدم بجزء مظلم من الورقة، لكن عندما يصطدم بجزء أبيض من الورقة ينعكس الضوء على الأسطوانة، والمادة المبطنة للأسطوانة مادة موصلة للضوء بمعنى أن الضوء سيجعل المادة الداخلية تطرد إلكترونًا، وكلما طُرِدَ إلكترون من داخل الأسطوانة تعادل مع الشحنة الإستاتيكية الموجودة على سطح الأسطوانة في هذه البقعة فحسب، ويتزامن دوران الأسطوانة مع حركة الضوء تحت الورقة، من ثم تنتقل الصورة المسطحة إلى السطح المنحني للأسطوانة.

وتقذف الأسطوانة المعرضة للضوء بالحبر بعد ذلك، فينجذب لأجزاء الأسطوانة التي لا تزال مشحونة، عندئذ تمرر قطعة من الورق ذات شحنة إستاتيكية فوق سطح الأسطوانة فتجذب الحبر بعيدًا عن الاسطوانة، وتُسخن الورقة ليثبت الحبر عليها، فنحصل على صورة من الورقة.

وإذا كان المبدأ وراء فكرة آلة تصوير الورق — وهو انجذاب المواد إلى الشحنات الإستاتيكية — مبدأً أساسيًّا ومفهومًا جيدًا، فلماذا إذن استغرق كل

هذا الوقت لإنتاج آلة تصوير مستندات عملية؟ الإجابة هي نفس الإجابة التي تصاحب مثل تلك النوعية من المخترعات وهي أن المفهوم الأساسي موجود منذ وقت طويل قبل وجود المواد اللازمة لتنفيذ الفكرة. فعلم المواد هو فرع من فروع المعرفة قائم بذاته، ويرجع ذلك إلى الوجود الفعلي لعدد لا نهائي من الخواص المتنوعة للعناصر وللمواد المشتقة من هذه العناصر. فعلى سبيل المثال، فكر في التنوع الذي يظهره سلوك عنصري الألمنيوم والنحاس (كلاهما يستخدم في الأسلاك الكهربائية)، ومسامير الصلب والمسامير المطلية بالخارصين (كلاهما يُطرق من على الرأس). وسنعرض في الفصل التالي الاختلافات على المائدة وهي الجدول الدوري للعناصر.





تجربة ٢: النحاس واللصوص

«أنت القادر على كل شيء، أنت وإزموندو. أنا لا أعني إزموندو وحده ولا أعنيك أنت وحدك. إنما أعنيكما معًا … مثل بعض المخاليط الكيميائية.»

هنري جيمس في كتابه «لوحة امرأة» ١٨٨٠

كن حذرًا في هذه التجربة، فالمحلول الذي سوف تحضره محلول كاوٍ، ويمكن أن يؤذي الملابس والأسطح والعين والبشرة، وإذا سقط بعض من المحلول فيجب عليك أن تغسل المنطقة التي سقط فيها السائل على الفور بمياه كثيرة، أما إذا دخلت قطرات من المحلول في عينيك فاغسل عينيك جيدًا بمياه غزيرة، وحاول الحصول على الرعاية الطبية. في هذه التجربة يتحتم عليك أن توفر الحماية المناسبة لعينيك.

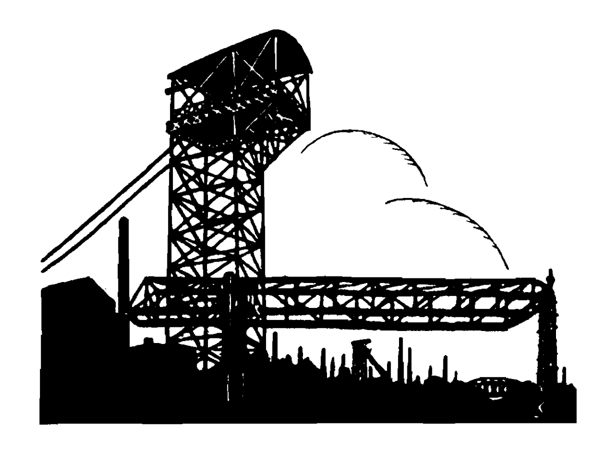
ارتد نظارة الأمان الواقية، وقفازات الحماية. في الجزء الأول من التجربة، خذ كوبين بلاستيكيين واملأهما بالماء حتى ارتفاع بوصة واحدة (٢,٥ سم).

اقطع بوصة (٢,٥ سم) من سلك ألمنيوم وبوصة من سلك نحاس، وأزل السلك العازل من عليهما إذا وُجد. ضع سلك الألمنيوم في كوب وسلك النحاس في الثاني. أضف نصف ملعقة شاي (٢ مليلتر) من اللي (محلول قلوي لصنع الصابون) — المذكور في قائمة المشتريات والمحاليل، التي نُصح فيها بشراء بلورات التنظيف الجافة التي لا تحوي فلز الألمنيوم — ثم قلب الكوب برفق حتى يمتزج، تظهر بعض الفقاعات الصغيرة الناتجة عن انحلال اللي.

بعد مضي من خمس عشرة إلى عشرين ثانية ينبغي أن يظهر سيل من الفقاقيع الصغيرة جدًّا من سلك الألمنيوم وليس من سلك النحاس.

ومن الواضح أن أسلاك النحاس والألمنيوم متشابهة، فكلاهما يستخدم في الأسلاك الكهربية، لكننا نرى الألمنيوم يذوب في هذا المحلول القلوي، ولا يذوب النحاس. والفقاعات التي لاحظت تصاعدها في عملية انحلال الألمنيوم هي الهيدروجين، مما يفسر لماذا نضيف رقائق الألمنيوم الدقيقة لبعض مواد التنظيف الجاف التي يكون اللي هو المادة الأساسية فيها، إذ تُوَفِّر رقائق الألمنيوم المحفزات التي تساعد على إزالة الانسدادات.

استمر في ارتداء النظارة في الجزء الثاني من هذه التجربة. خذ محلول كبريتات النحاس المعد كما هو مشار في «قائمة المشتريات والمحاليل» وصب نحو ربع بوصة (٠,٥ سم) أو أقل في كوب بلاستيكي. ضع مسمارًا من الصلب وآخر مطليًّا بالخارصين، وراعِ ألا يتلامس أحدهما مع الآخر. تعلو المسمارين طبقة نحاسية من محلول النحاس، لكن التفاعل يحدث أسرع مع مسمار الصلب، بل يبدو شكل الطبقة النحاسية التي عليه مماثلة للنحاس أكثر من تلك التي على المسمار المطلي بالخارصين. وغالبًا ما تكون مسامير الصلب من الحديد، أما المسامير المطلية بالخارصين فهي مسامير من الصلب مطلية بطبقة من الخارصين المقاوم للأكسدة، وكلتا المادتين تؤدي الوظيفة الفيزيائية للأسطح المقاومة للأكسدة، لكن تركيبهما الكيميائي، كما هو محدد بموقع الحديد والخارصين في الجدول الدوري، يعتمد على اختلاف الأداء الكيميائي كما هو مبين هنا.



الفصل الثاني

تحدث دوريًّا

«لا يستطيع ذلك الجيش أن يتعافى في أي مكان، فمنذ معركة بروديـنو وخراب موسكو وهو يحمل في نفسه ما يشبه عناصر الانحلال الكيميائي.»

ليو تولستوي في كتابه «الحرب والسلام» ١٨٦٤

عند التقاط صورة للعائلة عندما يجتمع شملها، قد يطلب المصور أن يقف أعضاء أسر العائلة بعضهم مع بعض أو يرتبهم حسب أطوالهم أو أعمارهم، وربما يطلب المصور المبالغ في الاهتمام بالتفاصيل أن يقف أولئك المقيمون في الساحل الغربي في جانب وأولئك المقيمون في الساحل الشرقي في الجانب الآخر ويجعل أولئك القاطنين في الشمال يقفون قليلًا إلى الخلف والقاطنين في الجنوب إلى الأمام. قد تأخذ مثل هذه الترتيبات بعضًا من الوقت والجهد لكنها ستضمن أن الأجيال القادمة سوف يتبينون قدرًا لا بأس به من المعلومات عن فرد معين بإيجاد موقعه أو موقعها في الصورة. وهكذا، يشبه الجدول الدوري الصورة الملتقطة لاجتماع العائلة، فبمجرد فهم مبدأ الترتيب، يمكن

الحصول على معلومات معينة عن عنصر معين بمجرد معرفة موقعه في الجدول.

هذا المصور الحاذق الذي رتب عناصر الجدول الدوري هو ديمتري مندليف؛ ولد مندليف في روسيا عام ١٨٣٤م. أدرك مندليف الحاجة إلى أهمية الترتيب حسب العمر في اجتماع العائلة، إذ كان الأصغر بين أربعة عشر طفلًا، وأدرك أيضًا الترتيب حسب الإقامة، حينما رأت أمه موهبته فاستخدمت مواردها المحدودة لترسله إلى موسكو ليتلقى تعليمه هناك. وبدأ مندليف بعد ضمان الحصول على وظيفة في التدريس، حاذيًا حذو مدرسي كافة العصور، في البحث عن طريقة لينظم أدواته، وكان موضوعه هو السلوك الكيميائي للعناصر، وقد نمت الأداة التدريسية التي تبناها لتصل إلى الجدول الدوري.[١]

ولكي يتمكن من تنظيم العناصر كتب مندليف كل سلوك العناصر التي يلاحظها في بطاقات، ثم صنف هذه البطاقات إلى مجموعات تبعًا للسلوك المتشابه، وبعدئذ أضاف مندليف مستوى آخر من التصنيف وأخذ يصنف العناصر تبعًا للكتلة المميزة للعناصر.

غالبًا ما يُسْتَخدم مصطلح الكتلة والوزن بمعنى واحد، لكن ثمة فرقًا خادعًا للغاية بل مهمًّا للغاية، فوزن الشيء هو قياس مقدار القوة التي تجذبه بها الجاذبية الأرضية نحو الأرض، ولأن جاذبية القمر أقل من جاذبية الأرض، نجد أن الأشياء تزن أقل على سطح القمر. وتُقاس الكتلة وفقًا لميزان يرتبط ببعض المعايير، وبالنظر إلى «تمثال العدالة العمياء» الذي يرمز إلى سيادة القانون، نجده امرأة معصوبة العينين تحمل مثل هذا الميزان. ولقياس كتلة المادة، نضع المادة في إحدى كفتي الميزان ونضع معيارًا لكتلة معروفة في الكفة الأخرى إلى أن تتساوى الكفتان، ولأن الجاذبية تؤثر على المعايير بنفس الطريقة التي تؤثر بها على الشيء المراد قياسه، من ثم تكون الكتلة المقاسة على الأرض مساوية تماما لتلك المقاسة على سطح القمر.

وكان يعرف في وقت مندليف أن العناصر يتحد بعضها مع بعض بنسب محددة مثلما تتحد المكونات في أثناء الطهي، فمثلما قد تتطلب طريقة صنع الكعك بيضة وكوب لبن، فإن طريقة صنع ملح الطعام تتطلب جزءًا من الصوديوم وجزءًا من الكلور. وكانت كتلة الجزء الواحد من الصوديوم تؤخذ

باعتبارها الكتلة المميزة للصوديوم وهي الكتلة المميزة لكل عنصر استخدمه منديليف في المرحلة الثانية من الترتيب.

وقد رتب باحثون آخرون العناصر في مجموعات طبقًا لكتلها المميزة، لكن كانت لمنديليف جسارة في الاحتفاظ بمجموعات لها نفس السلوك الكيميائي بعضها مع بعض، حتى وإن كان نتيجة ذلك ترك بعض الفراغات في الجدول، وما لبثت البصيرة النافذة لمنديليف أن كشفت عن نفسها عندما وجد آخرون العناصر المفقودة ووجدوا أنها تتناسب وفراغات جدول منديليف.

وبعد مضي عدة عقود — بعدما كشف باحثون آخرون عن لغز تركيب الذرة — وجدوا أن اتجاهات تركيب الذرة تتبع ترتيب الجدول الدوري، معلنة بذلك الارتباط بين التركيب الذري والسلوك الكيميائي. ويبدو أن المفهوم قد أصبح واضحًا بعد الإدراك المتأخر له، فسلوك كل الأشياء، من السمكة إلى وميض الضوء، تحدده الطريقة التي وُضعت بها هذه الأشياء معًا، لكن التركيب الأساسي للذرات — الإلكترونات والبروتونات والنيترونات — لم يكن معروفًا حينما رتب منديليف جدوله.

ويظهر الجدول الدوري الحديث الذي جرى توسيعه بدرجة كبيرة منذ وقت منديليف في شكل ١-٢-١. وقد تكون رموز بعض العناصر مألوفة لديك مثل رمز (H) الذي يشير إلى الهيدروجين، و(O) الذي يشير إلى الأوكسجين، وقد لا يكون البعض الآخر مألوفًا. وتُشتق رموز بعض العناصر مثل التنجستين (W) والصوديوم (Na) من أسماء بديلة لهذه العناصر، فرمز التنجستين (W) مأخوذ عن الاسم الألماني Wolfram ورمز الصوديوم (Na) مأخوذ عن الاسم اللاتيني Natrium. وتشير الأرقام التي توجد فوق العناصر إلى العدد الذري (وهو مفهوم سنشرحه فيما بعد) ويُلحق بهذا الكتاب قوائم العناصر بأسمائها ورموزها وأعدادها الذرية.

ويوضح شكل ١-٢-١ الجدول الدوري المبسط بإيجاز وبدون الأعداد الذرية.

يضم النموذج رقم ١-٢-٢ للجدول الدوري كل العناصر نفسها الموجودة في الشكل ١-٢-١، لكنه يتطلب من المستخدم أن يتذكر أن العناصر من السيريوم (Ce) إلى الليوتيتيوم (Lu) والثوريوم (Th) واللورنسيوم (Lr) هي بالفعل تتبع اللنثانوم (La) والأكتينيوم (Ac) على التوالي، وتُرَى هذه

1 H																															2 He
3 Li	4 Be																									5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg																									13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc															22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y															40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt									

شكل ١-٢-١: الجدول الدوري الحديث.

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Act	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	•	•	•						

*Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd
†Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm

شكل ١-٢-٢: الجدول الدوري المبسط.

العناصر في الجدول الدوري التقليدي على إنها صفوف منفصلة لملاءمة طباعة الحروف.

وأيًّا كان الشكل الذي تختار أن تستعين به، فالسمة اللافتة للنظر في الجدول الدوري هي نظام ترتيبه، ففي عالم مثل عالمنا هذا حيث السحب المتغيرة الأشكال، والأشجار التي تنمو أفرعها على نحو عشوائي، والخلايا التي لا يوجد اثنتان منها متشابهتين، أو تتماثل فيه كتلتان جليديتان، قد يبدو ترتيب الجدول الدوري الحاذق أمرًا خارقًا للطبيعة مثل الطقوس الدينية

شديدة الصرامة. إلا أن هذا النظام البدائي الذي يمكنه أن يحيل الأمور المعقدة إلى أمور فوضوية (لقد أرجأنا النقاش في مثل هذا الأمر إلى الفصل الذي يتحدث عن الديناميكا الحرارية)، يشكل القواعد الأساسية لعالمنا المتغير.

ويكمن أول الأنماط وأكثرها دقة في عدد البروتونات في نواة كل عنصر، فعلى سبيل المثال يحتوي الهيدروجين، أول عنصر مدرج في الجدول الدوري، على بروتون في نواته، والهليوم، ثاني عنصر (عند القراءة من اليسار إلى اليمين)، بروتونين في نواته. ويأتي الليثيوم بعد الهليوم بالاتجاه إلى أسفل في الصف الثاني — ومرة أخرى بداية من جهة اليسار إلى اليمين — وهو يحتوي على ثلاثة بروتونات في نواته، ويليه البريليوم الذي يحتوي على أربعة بروتونات، ثم بالانتقال إلى الجانب الآخر من نفس الصف متخطين الفجوة، نجد البورون ذا الخمسة بروتونات في نواته، وبالمضي قدمًا على نفس المنوال، نجد أن للكربون ستة بروتونات والنيتروجين سبعة والأوكسجين ثمانية، وهكذا. ويطلق على عدد البروتونات في النواة العدد الذري، وهو الرقم المعطى مع كل عنصر في الجدول في الشكل رقم (١-٢-١). ويبدأ التعقيد يظهر في الجدول بمجرد أن يكون للعنصر كتلة يُعتد بها. وتجمع الأعداد الذرية العناصر إلى أرقام دقيقة ومرتبة وصحيحة، لكن بإلقاء نظرة على الملحق آخر الكتاب، نجد أن الكتل الذرية للعناصر أرقامها غير دقيقة وغير مرتبة وغير صحيحة. وتنشأ هذه الطبيعة الشاذة للكتل الذرية من جرّاء حقيقة أن الذرة تُبنى من بروتونات ونيوترونات، وتوجد طريقة أساسية تصف طريقة تركيب هذه العناصر، لكن ثمة اختلافات في هذه الطريقة أيضًا.

وعليك أن تبدأ من مكان ما، وعندما تعلق الأمر بالكتلة بدأ العلماء بالبروتون، وقد عرف العلماء البروتون على أنه كتلة وحدة واحدة للكتلة الذرية أو و. ك. ذ.، ويُفترض أن كتلة النيترون وحدة واحدة للكتلة الذرية أيضًا، وذلك للاقتراب الشديد بين البروتون والنيترون في الكتلة، ودائمًا يكون عدد البروتونات في ذرة العنصر هو نفس عددها الذري ومساو له؛ فإذا كان للذرة سبعة عشر بروتونًا، فإن عددها الذري يكون ١٧، وهو عنصر الكلور. وإذا كانت الذرة هي ذرة كلور، فهي تحوي إذن سبعة عشر بروتونًا. ولكن يمكن أن تتنوع كتلة الذرة المعطاة لعنصر ما، وذلك لأن عدد البروتونات وعدد النيترونات يحددان كتلة الذرة، ومن الممكن أن يتغير عدد النيترونات؛ فعلى

سبيل المثال، تحوي كل ذرة كلور سبعة عشر بروتونًا، لكن بعض الذرات تحوي ثمانية عشر نيترونًا والبعض الآخر يحوي عشرين نيترونًا، فيكون مجمل كتلة ذرة الكلور التي تحوي ثمانية عشر نيترونًا هو سبع عشرة و. ك. ذ. بالإضافة إلى ثماني عشرة و. ك. ذ.، أي خمس وثلاثين و. ك. ذ. وإجمالي كتلة الذرة التي بها عشرون نيترونًا، يكون سبع عشرة و. ك. ذ. بالإضافة إلى عشرين و. ك. ذ.، أي سبع وثلاثين و. ك. ذ.، وعندما تكون لذرات عنصر ما كتل مختلفة، يُطلق عليها اسم «النظائر». وتكون الكتلة الذرية للعنصر المعطى هي متوسط كتلة نظائرها.

ويمكن تشبيه عدد البروتونات في الذرة بنوع من الخصائص التي تميز الإنسان بكونه ذكرًا، فإذا كان لأحدهم هذه الخصائص يكون ذكرًا، كذلك إذا كان لذرة عدد معين من البروتونات، فإن ذلك العدد هو الذي يحدد هوية ذلك العنصر، لكن الذكور المختلفة لها كتل مختلفة، لكننا نستطيع بسهولة ويسر أن نوجد متوسط كتلة مجموعة من الرجال بواسطة جمع كل كتلهم الفردية معًا ثم نقسم الإجمالي على عدد الرجال في هذه المجموعة، وبالمثل، يمكن اتباع نفس الإجراء مع عناصر الجدول الدوري. وكما نرى في الملحق، كتلة الكلور المعطاة هي ٣٥٫٤٥ و. ك. ذ.، التي لا تمثل حتى كتلة أي نظير، وهي تمثل متوسط أعلى من الكتلة المعتادة للنظائر، غير أن عدد البروتونات هو الذي يحدد نوع العنصر، وعليه، مع أن النظائر قد يكون لها أعداد مختلفة من النيترونات وكتل مختلفة، فإن العدد الذري هو الذي يخبرنا بعدد البروتونات، وعدد البروتونات هو الذي يحدد نوع العنصر، والعدد الذي تلحظ زيادته وأنت تطلع على الجدول الدوري هو العدد الذري وهو نفس عدد البروتونات.

لكن إذا كان لا يوجد مبدأ يقوم عليه التصنيف غير عدد البروتونات في النواة، لماذا إذن ذلك الشكل المثير للفضول في الجدول الدوري؟ يُعزى ذلك إلى أن ترتيب الجدول يهتم بما هو أكثر من عدد البروتونات.

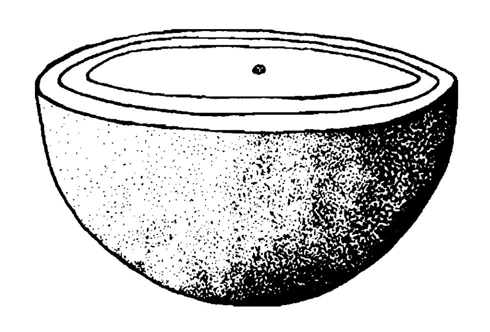
وتُصنف الكائنات الحية في علم الأحياء إلى ممالك وشعب وطوائف ورتب وعائلات وأجناس وأنواع، وتُصنف العناصر في الكيمياء أيضًا — وإن كان إلى عدد فئات أقل — وما يعنينا هنا هو تصنيف العناصر إلى ما يطلق عليه «أنواع» مختلفة، وعدد البروتونات هو ما يحدد نوع العنصر، من ثم يمكن النظر إلى العدد الذري على أنه «الجنس»، فإذا كانت الذرة تحتوي على بروتونين فهذا

يعني أنها لعنصر الهليوم، وإذا كانت الذرة هي ذرة هليوم إذن هي تحوي بروتونين. فهذا أمر ثابت لا يتغير، غير أن عدد الإلكترونات في ذرة العنصر يمكن أن يتغير، ويمكن اعتبار أي تغير هو «الأنواع»، ويكون عدد البروتونات هو نفس عدد الإلكترونات في الأنواع المتعادلة من الذرات.

ويحمل البروتون وحدة واحدة من الشحنات الموجبة، لذا لكي تصبح الذرة متعادلة يجب أن يعادل هذه الشحنة الموجبة إلكترون له شحنة سالبة، لذلك، يخبرنا الجدول الدوري أيضًا بعدد الإلكترونات الموجودة في ذرة العنصر المتعادلة، بالإضافة إلى ذكر عدد البروتونات الموجودة في هذا العنصر؛ فعلى سبيل المثال، يحتوي الهيدروجين على بروتون، لذا تحتوي ذرة الهيدروجين المتعادلة على إلكترون أيضًا، وتوجد في نواة الكربون ستة بروتونات، لذا توجد في ذرته المتعادلة كهربيًّا ستة إلكترونات.

وكما أشرنا من قبل، تشغل الإلكترونات مداريات وسنضيف إلى ذلك الآن أن هذه المداريات تترتب حول النواة في طبقات رقيقة، وتكون الطبقات متداخلة كما هو موضح في شكل ١-٢-٣، وكل طبقة لديها القدرة على أن تسع المزيد من الإلكترونات، وتوجد متوالية حسابية لتحديد عدد الإلكترونات الذي يمكن أن تحمله كل طبقة: فالطبقة الأولى تحمل إلكترونين، والثانية تحمل ثمانية إلكترونات، والثالثة ثمانية عشر إلكترونًا، أما الطبقة الرابعة فتحمل اثنين وثلاثين إلكترونًا، ومن ثم، تزداد القدرة الاستيعابية للطبقة على حمل الإلكترونات بنمط منتظم كالآتي: مربع رقم الطبقة مضروبًا في اثنين، فالطبقة الأولى، طبقة رقم ١، تحمل ١ مربعًا مضروبًا في ٢، أو إلكترونين. والطبقة الثانية، طبقة رقم ٢، تحمل تربيع رقم ٢ مضروبًا في ٢ أي ثمانية إلكترونات، وهكذا.

وقد قدمنا هنا الطبقات الرقيقة بوصفها طبقات دقيقة في أجسام كروية متداخلة، وتشبه هذه الطبقات الرقيقة المتداخلة تلك الكعكة متعددة الطبقات التي تكون كل طبقة فيها ذات نكهة مختلفة، لكن في حقيقة الأمر تتكون الطبقات الرقيقة من شرائح داخلية وإن كان علينا أن نعرض شكلًا لإحداها في نموذجنا، سينتهي بنا الأمر إلى شكل أشبه بشكل البصلة المفتوحة حيث يبرز شكل الشرائح المستديرة بداخلها، فالبصل تتشابك طبقاته وتصبح ممزوجة بعضها ببعض، وهذا عين ما يحدث أيضًا مع الشرائح الداخلية للذرات.



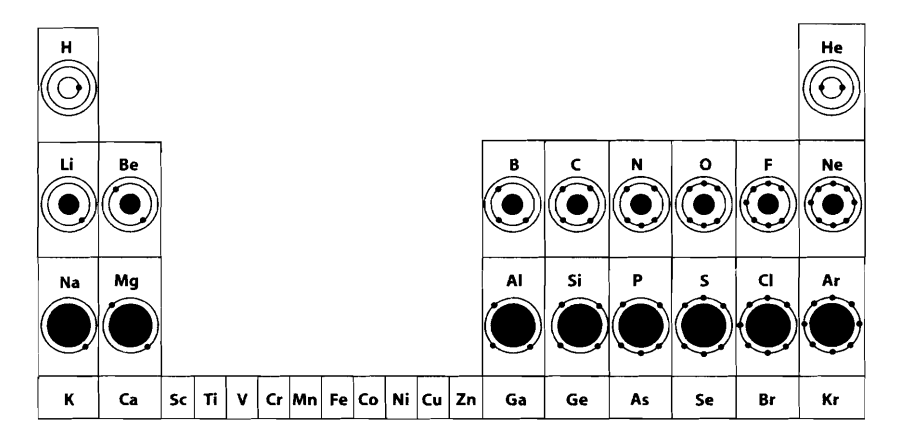
شكل ١-٢-٣: عرض تصويري للطبقات حول الذرة.

لكن هذه طبقة بصل ولسنا في حاجة إليها الآن! ومن الناحية النظرية، تأخذ الطبقات الشكل الكروي بمجرد امتلائها بالإلكترونات، لذا سنعتبرها هنا كروية الشكل.[٢]

ويُطلق على صفوف الجدول الدوري دورات (وعليه سُمي بالجدول الدوري)، ويتحدد موقع العنصر الذي يشغله في الدورة بناء على عدد الإلكترونات في طبقته الخارجية الأكثر بعدًا عن النواة، وكل مرة يزيد فيها العدد الذري بمقدار واحد، يزيد معه عدد البروتونات في النواة بمقدار واحد، ويتطلب العنصر الجديد إلكترونًا آخر لذرته المتعادلة، وترتب الإلكترونات نفسها في الطبقات التي تحيط بالنواة، وكل مرة تمتلئ فيها الطبقة ينتهي الصف. وتُعرض الطبقة الممتلئة في الجدول الدوري باعتبارها صفًّا ممتلئًا كما هو موضح في شكل ١-٢-٤.

ومن ثم تحدد الطبقات شكل الجدول الدوري، لكن ليس هذا كل شيء فلا يزال هنالك المزيد لنسرده. فهناك أثر آخر ذو مغزى من وجود الطبقات ألا وهو أن الانشغال أو الانشغال الجزئي للطبقات هو الذي يحدد السلوك الكيميائي أو «النشاط الكيميائي» للعناصر المتنوعة. والأعمدة الرأسية في الجدول الدوري هي لمجموعة من العناصر التي لها حالات متشابهة من حيث انشغال طبقاتها الخارجية، فهي أعضاء في نفس العائلة، ولكن العائلات التي تتشارك الكيمياء وليست تلك التي تتشارك الأسلاف!

فعلى سبيل المثال، يكون لكل من الهليوم والنيون والأرجون طبقات ممتلئة، وتعرف هذه العناصر التي توجد في صف عمودي بالغازات النبيلة لأن



شكل ١-٢-٤: كل مرة يزيد فيها العدد الذري بمقدار واحد، يزيد معه عدد البروتونات في النواة بمقدار واحد، ويتطلب العنصر الجديد إلكترونًا آخر لذرته المتعادلة، وترتب الإلكترونات نفسها في الطبقات التي تحيط بالنواة، وكل مرة تمتلئ فيها الطبقة ينتهي الصف، فكل من الهليوم والنيون والأرجون يكمل صفًّا، وكل منها يصنع طبقة ممتلئة.

لها طبيعة رصينة وهامدة وخاملة، ويجسد الهليوم فقرها للنشاط الكيميائي، وهو عنصر غاية في الخمول حتى إننا نستخدم بالونات الهليوم في تزيين الحفلات، ومن ناحية أخرى، يتسم الهيدروجين بشدة نشاطه، لذا قد تجلب بالونات الهيدروجين في الحفلات تسلية تصاحبها أصوات مدوية أكثر من تلك التي نكترث لها.

وتتشابه تفاعلات النيتروجين والفسفور لأن لهما نفس العدد من الإلكترونات في طبقتهما الخارجيتين (خمسة إلكترونات). وتشابه تفاعلات الأوكسجين تفاعلات الكبريت لتشاركهما في نفس عدد انشغال طبقاتهما الخارجيتين (ستة إلكترونات). ويسمى هذا الانشغال للطبقة الخارجية للذرة «تكافؤ الذرة». فتكافؤ الكربون هو ٤ (بسبب وجود أربعة إلكترونات في طبقته الخارجية)، وهو يتشابه في بعض الخواص الكيميائية مع السليكون الذي يكون تكافؤه ٤ أيضًا. وتُستخدم عناصر السليكون والجيرمانيوم والقصدير والرصاص التي لها نفس التكافؤ وهو ٤ ولكن بنسب مختلفة في تكوين أشباه الموصلات، وفي تكوين مواد مثيرة وهامة وسنتعرض لذلك فيما بعد عند مناقشة الروابط الكيميائية.

ويتفاعل الأوكسجين مع الهيدروجين بنسبة واحد إلى اثنين وكذلك الكبريت والسلنيوم والتليوريوم، ويضطلع النشاط الكيميائي — الذي هو قدرة العناصر على الترابط كيميائيًّا في مركبات — بمهمة تحويل عناصر الكون إلى مواد الأرض التي هي في النهاية مواد الحياة. ومع أنه علينا أن نقلع عن الإسهاب في مناقشتنا حول جزيئات الحياة المعقدة حتى تتوافر أسس أكثر متانة، فإن لدينا بالفعل معلومات كافية لمناقشة اثنتين من أهم المواد الكيميائية في الحياة، وهما يعدا بلا أدنى شك من المواد الأساسية في الحياة التي تتكون منهما المواد الأخرى، وهما الملح والماء، فالحياة الأولى تكونت في المحيطات المالحة كما هو موضح في المحاليل الملحية في خلايانا وكما هو دائمًا جلي في الطبيعة الملحية لأجسامنا.

فعادة في العالم المتحدث بالإنجليزية، عندما نفكر في الملح يتوارد على أذهاننا ملح الطعام، كلوريد الصوديوم NaCl، وإذا أردنا أن نعرف أهم ثاني مركب كيميائي بعد الماء H_2O، بالطبع سيكون كلوريد الصوديوم، مركب ملح الطعام، ويتشارك كلوريد الصوديوم وكلوريد البوتاسيوم في خصائص كثيرة لدرجة أن كلوريد البوتاسيوم يستخدم كبديل لملح الطعام، إذ تتشابه الصيغة الكيميائية لكلا المركبين أيضًا، فكلوريد الصوديوم يتكون من جزء من الصوديوم وجزء من الكلور، وكلوريد البوتاسيوم يتكون من جزء من البوتاسيوم وجزء من الكلور، لكن لا تتوحد نسبة واحد إلى واحد هذه مع كافة الأملاح، فعلى سبيل المثال يتكون كلوريد الكالسيوم من جزء كلور وجزء كالسيوم. لماذا إذن يسلك الصوديوم طريقًا والكاسيوم آخر؟ يتعرض الجدول الدوري لهذه القضية أيضًا:

أولا: ينقسم الجدول الدوري إلى قسمين رئيسيين وهما الفلزات واللافلزات، وتقع الفلزات يسار خط السلم المتعرج الذي يبدأ من اليمين بين عنصري البورون (B) والألنيوم (Al) وينتهي بين عنصري البولينيوم (Po) والأستاتين (At) (فيما عدا الهيدروجين الذي يعتبر من اللافلزات). وتعتبر عناصر النحاس (Cu) والنيكل (Ni)، والزنك (Zn) عناصر مألوفة ومثال جيد للفلزات؛ فهي تتمتع بالحالة الصلبة في درجة حرارة الغرفة، وتخضع للتشكيل والقولبة، كما أنها موصلات جيدة للحرارة والكهرباء، أما اللافلزات فيصعب قليلًا أن نضعها في مجموعة ذات خصائص عامة، إلا أن خصائص الأوكسجين والكربون مألوفة

بالقدر الذي يسمح لنا بأن نثبت أن هذه العناصر غير فلزية عند سلوكها في التفاعلات الكيميائية.

ولا تتضح معالم الخط الفاصل بين الفلزات واللافلزات، ومن ثم تسمى العناصر التي تقع على مقربة من خط السلم المتعرج أشباه الفلزات، أي أنها لا تتطابق تماما مع تعريف من التعريفين. ويجد الألمنيوم (Al) نفسه في هذا الوضع، ومع ذلك فنحن نميل عامة لاعتبار الألمنيوم فلزًّا، وهو فلز غريب لأنه خفيف للغاية (لذا يستخدم في قوالب المحركات في عربات السباق)، بالإضافة إلى أنه يبدو محببًا ورماديًّا أكثر من كونه ناعمًا، وتكون رقائق الألمنيوم طيعة ولامعة لكنها تتغير كلية عند تعرضها للهب الفحم وهو نفس ما يحدث لعلب وصفائح الألمنيوم، وهكذا يسلك الألمنيوم سلوك الفلزات واللافلزات معًا فيكون بذلك شبه فلز.

والملح مركب يتكون من فلز ولافلز، ومن ثم يتفاعل الصوديوم وهو عنصر فلزي مع الكلور وهو عنصر لافلزي ليُكَوِّنا كلوريد الصوديوم المعروف لدينا بملح الطعام. وتتركب الوصفة الثابتة لكلوريد الصوديوم من ذرة صوديوم وذرة كلور، والأساس في هذه النسب الدقيقة هو الطبقات أيضًا وهو ما سنخوض في شرحه الآن.

وتتحدد كتلة الذرة وفقًا لعدد البروتونات والنيترونات في نواتها، كما ذكرنا من قبل، ولا تضيف الإلكترونات، كما ذكرنا أيضًا، فعليًّا شيئًا إلى الكتلة، كما لا تضيف البراغيث شيئًا في الواقع إلى كتلة الفيل، لكنها تؤثر على سلوك الفيل مع أنها صغيرة الحجم؛ لأنها براغيث، كذلك الإلكترونات تحدد السلوك الكيميائي للعنصر مع أنها صغيرة، فعندما تكتسب الذرة إلكترونًا أو تفقد آخر، فإنها تصبح في حالة من عدم اتزان الشحنة وتصبح «أيونًا»، فيُعد هذا الأيون نوعًا جديدًا لهذا العنصر؛ فذرة العنصر التي تحتوي على عدد من الإلكترونات أكثر من عدد البروتونات هي نوع مشحون شحنة سالبة أي أيون سالب، وتعتبر ذرة العنصر التي بها عدد إلكترونات أقل من البروتونات نوعًا مشحونًا بشحنة موجبة أي أيون موجب، والأيون هو نوع تفاعلي كما لو كان في حالة بحث عن شيء في الشحنة المضادة ليتحد معه.

وقد يبدو للوهلة الأولى أن أية كمية من الشحنات يمكن أن تُكتسب أو تُفقد وأن أي أيون يمكن أن يتكون، لكنه قد اتضح أن كل عنصر يفضل أن

يتعامل مع كمية معينة من الشحنات يمكن التنبؤ بها، أو يمكنك القول أنه نوع من مستوى التأين الذي يمنح العنصر الراحة عند التعامل معه، وهو المستوى الذي يمكن التنبؤ به عن طريق الجدول الدوري.

وتمتلئ الطبقة الأولى (الصف الأول) بإلكترونين، وتحتاج الطبقة الثانية لثمانية إلكترونات، وتسع الطبقة الثالثة ثمانية عشر إلكترونًا، وهكذا. ولقد ذكرنا من قبل أن الغازات النبيلة غير تفاعلية/نشطة، ومع ذلك، فقد اتضح أن طبقاتها ممتلئة أيضًا، ويعتبر أول مبادئ «نظرية طبقات الذرة» — النظرية القائلة إن السلوك الكيميائي يعتمد على عدد الإلكترونات في الطبقات — وأكثرها جوهرية هو المبدأ القائل إن الذرة تميل لأن تكتمل طبقاتها امتلاء، وثمة حافز ملح للتفاعلات الكيميائية هو أن الذرة تميل لأن تمتلئ بالحمل الإلكتروني أو تفرغه بأي من الوسائل المتاحة إلى أن تصل إلى هذه الحالة السعيدة. ومن ثم تميل ذرة الكلور ذات السبعة إلكترونات في طبقتها الخارجية لأن تكتسب إلكترونًا، ومن ثم يصبح لديها ثمانية إلكترونات وتمتلئ طبقتها الخارجية. ويفقد الصوديوم إلكترونه الخارجي ومن ثم يكون له طبقة ممتلئة بثمانية إلكترونات. في حقيقة الأمر، غالبًا يقع الاختيار على الرقم ثمانية للترتيب المستقر للإلكترونات، ونحن نشير إلى ترتيب الطبقة الخارجية المكتملة والمستقرة تلك بالثمانيات، ومن ثم يكون للموسيقيين ثمانيتهم وللكيميائيين أيضًا ثمانيتهم. لكن المفهوم يشوبه بعض الغموض عند الكيميائيين؛ إذ تتكون الطبقة الخارجية المكتملة للهيدروجين على سبيل المثال من إلكترونين، ومن ثم تكون ثمانيته ثنائية، فهو فعليًّا ثنائي (لحن ثنائي) وليس ثمانيًّا!

ويُمنح الصوديوم، إذا فقد إلكترونًا، شحنة موجبة صافية تُرى كعلامة (+) تُكتب أعلى الرمز هكذا Na^+، وبالطبع يمكن للصوديوم أيضًا أن يكتسب سبعة إلكترونات كي يملأ ثمانيته، لكن الذرة تميل للأسهل؛ ففقد إلكترون أسهل من اكتساب سبعة أخرى. ويعطي اكتساب إلكترون للكلور شحنة سالبة صافية تُرى كعلامة (−) مكتوبة فوق العنصر، Cl^-، وتعني الشحنات المتساوية والمتضادة لأيوني الصوديوم والكلور أن كلًّا منهما سيسعى نحو الآخر وسيتحد كل منهما بالآخر بنسبة واحد إلى واحد مكونين NaCl.

وهذا نفس ما يحدث مع كلوريد البوتاسيوم. ويقع البوتاسيوم (رمزه (K) مأخوذ من الكلمة اللاتينية Kaluim) أسفل الصوديوم مباشرة في الجدول

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Act	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	•	•	•						

*Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
†Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

شكل ١-٢-٥: إذا فقد الصوديوم Na إلكترونًا ستكتمل طبقته الخارجية، وإذا اكتسب الكلور إلكترونًا ستمتلئ طبقته الخارجية. وعليه، بنقصان إلكترون يصبح الصوديوم Na^+، وبزيادة إلكترون يصبح الكلور Cl^-. ويجتمع Na^+، وCl^- معًا ليكونا NaCl.

الدوري، ويتسنى للبوتاسيوم بلوغ حالة السعادة الناتجة عن وجود ثماني إلكترونات في طبقته الخارجية بواسطة فقد إلكترون، تاركًا بروتونًا زائدًا طليقًا وشحنة موجبة، وتتناسب هذه الشحنة الموجبة مع الشحنة السالبة لأيون الكلور، التي تكون في أسعد حالاتها، وينتج عن ذلك كلوريد البوتاسيوم KCl، وهو مركب يمكن أن يحل محل ملح الطعام. وبالاستعانة بالجدول الدوري نجد أن الكالسيوم يصل إلى حالة الامتلاء عندما يفقد إلكترونين ويكتسب شحنتين موجبتين Ca^{2+}، ومن ثم، من الممكن أن نتوقع ارتباطه بأيونين من الكلور $2Cl^-$ ليكون ملح كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$.

$$Ca^{2+} + 2Cl^- \longrightarrow CaCl_2$$

هذه هي المعادلة على طبق من فضة أو على طبقة ذرية إذا رغبت.

ويمكن أن تمتد الفكرة لتشمل مواد مكونة من اللافلزات أيضًا، فعلى سبيل المثال، يمكن شرح مركب H_2O (الماء) في ضوء الطبقات الذرية، وثمة خيط رفيع فاصل فيما يخص الاختلاف بين الرابطة الكيميائية في كلوريد

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac†	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	•	•	•						

*Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
†Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

شكل ١-٢-٦: يمكن تحديد عدد إلكترونات التكافؤ (عدد الإلكترونات في الطبقة الخارجية) للهيدروجين والأوكسجين من طريق موقعهما في الجدول الدوري؛ فالعدد الذري للهيدروجين هو واحد، فيكون لديه بروتون وإلكترون تكافؤ، ويكون إجمالي إلكترونات الأوكسجين هو تسعة إلكترونات، لكن اثنين فقط منها يوجدان في الطبقة الممتلئة، أما الستة إلكترونات الخارجية ففي طبقة التكافؤ.

الصوديوم والرابطة في الماء وهي ما سوف نتناولها لاحقًا عندما نخوض أكثر في الروابط الكيميائية، لكن لا يزال إعادة ترتيب الإلكترونات لملء الطبقات هو أولويتنا الأساسية.

وعدد إلكترونات التكافؤ (إلكترونات الطبقة الخارجية) التي يجلبها الهيدروجين للخليط هي إلكترون يستدل عليه من موقعه كأول عنصر في الجدول الدوري، والهيدروجين في حاجة ماسة إلى طبقة ممتلئة مثل التي يتمتع بها الهليوم مما يعني أنه في حاجة إلى إلكترون آخر. وبالمثل يكون عدد إلكترونات التكافؤ التي يجلبها الأوكسجين للتفاعل هي ستة إلكترونات يستدل عليها من موقعه كسادس عنصر في الجدول، (في الدورة الثانية عند القراءة من اليسار إلى اليمين عبر الجدول الدوري)، إلا أن الأوكسجين غير مشبع أيضًا، ويصل الأوكسجين إلى السعادة الحقيقية (حالة الاستقرار) عندما يكتمل امتلاء طبقته الخارجية كما في حالة النيون، لكن الأوكسجين يحتاج أن يكتسب إلكترونين لكي تمتلئ طبقته الخارجية، يحصل كل من الهيدروجين والأوكسجين على احتياجاتهما المتبادلة عن طريق مشاركة الإلكترونات، لكن الأمر يستلزم

وجود ذرتي هيدروجين في هذا الخليط الخاص لسد حاجة ذرة أوكسجين واحدة، وعندما تشارك كل من ذرتي الهيدروجين بإلكترونيها الوحيدين مع ذرة الأوكسجين، ينتهي الحال بثمانية إلكترونات تكافؤ للأوكسجين. وفي هذا التبادل، تستطيع كل ذرة هيدروجين أن تستفيد بإلكترون من الأوكسجين وتملأ طبقتها الخاصة وتأخذ نصيبها! والناتج عن هذا الخليط هو الماء H_2O.

ونحن بلا ريب نحتاج الماء للحياة، وأيضًا الهواء، لكننا لا نحتاج كل مكونات الهواء، فأغلب الهواء يتكون من غاز النيتروجين الذي يوجد في شكل جزيء ثنائي الذرة N_2، ويختلط بالنيتروجين كمية كبيرة من غاز الأوكسجين الذي يتكون من جزيء ثنائي الذرة O_2. ويمكن تفسير طبيعة النيتروجين كجزيء ثنائي الذرة بالرغبة نفسها في الوصول إلى طبقات ممتلئة، إذ تحوي ذرة النيتروجين خمسة إلكترونات في طبقاتها الخارجية، وفي حالة وجود ذرتي نيتروجين، تشارك كل ذرة شريكتها الأخرى من النيتروجين بثلاث إلكترونات — إذ تفيد كل منهما الأخرى بالحصول على ثمانية إلكترونات لملء طبقاتهما.

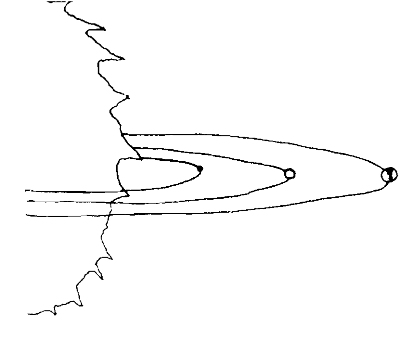
ويُعزى غنى الهواء الشديد بالنيتروجين أكثر من الأوكسجين إلى سبب كيميائي، ألا وهو قلة النشاط الكيميائي للنيتروجين، مما يجعله يشارك في أنواع محدودة من التفاعلات الكيميائية أقل من الأوكسجين، ناهيك عن أن غاز النيتروجين مستقر في الجو مما يعرضه لأشعة الشمس وهو ما لا يحدث مع الأوكسجين. ولكن لا يعني القول أن غاز النيتروجين أقل نشاطًا من غاز الأوكسجين أن النيتروجين غير نشط، ففي حقيقة الأمر النيتروجين نشط جدًّا ويستدل على ذلك من عدد المواد والمخاليط التي تحوي النيتروجين كمكون أساسي لها.

فعلى سبيل المثال، النيتروجين مكون أساسي في البارود، علاوة على أنه يعتبر مكونًا أساسيًّا في الأحماض الأمينية الضرورية للحياة كما نعلم. وتعطي مركبات النيتروجين اللون البني المحمر للدخان، ويوجد حامض النيتريك في الأمطار الحامضية، ويستخدم سائل النيتروجين في إزالة البثور، ونفس النيتريتات التي تستخدم لحفظ الطعام تسبب السرطان للفئران، وتقوم مركبات النيتروجين بمسئولية إيجاد تربة خصبة غنية بالنيتروجين وأيضًا بمسئولية نمو البكتيريا التي توجد عند حدوث مرض طفح الحفاض عند الأطفال، وتدخل بعض مكونات النيتروجين في المنظفات القوية، في حين يعتبر البعض الآخر مصدر

روائح تضاهي في كراهيتها روائح السمك السيئة. والغاز المضحك الذي يستخدم مُخدِّرًا لقلع الأسنان بلا ألم هو أحد أكاسيد النيتروجين، في حين أن TNT وهو اختصار مادة ثلاثي نترات التولين هي مادة غير بنّاءه. وعلى الصعيد الفسيولوجي، شكلت مركبات النيتروجين النشطة — مثل الكافيين والنيكوتين والمورفين والكوديين والكينين (مادة شبه قلوية شديدة المرارة تعالج بها الملاريا) — تاريخ البشرية. ويشارك النيتروجين في الكيمياء التي تهدد الحياة بالمتفجرات المخصبة بالنيتروجين، وأيضًا في الكيمياء التي تحمي الحياة عن طريق الوسائد الهوائية الممتلئة بالنيتروجين. فالنيتروجين مادة تسبب دمارًا شاملًا ونفعًا تامًّا في الوقت نفسه، كيف يكون هذا؟!

ولفهم براعة النيتروجين نحتاج أن نلقي نظرة أخرى على الجدول الدوري، وبالنظر على موقع النيتروجين نجد أن هناك طريقتين يمكن بهما الحصول على طبقة ممتلئة: إما باكتساب ثلاثة إلكترونات والوصول إلى طبقة مكتملة العدد، كما ذكرنا من قبل، أو بفقد خمسة إلكترونات والوصول إلى طبقة مكتملة العدد أيضًا. وكما يتضح، ثمة بعض المواقف الوسطية مثل فقد ثلاثة إلكترونات فقط، فهذا مقبول للنيتروجين أيضًا، ومن ثم يمثل النيتروجين شخصيات عديدة، ويمكنه أن يخضع للعديد من التحولات. وسنواصل التعلم عن تعدد براعة النيتروجين وما تبقى من الجدول الدوري في الصفحات القادمة.

على سبيل المثال: عناصر التنوع



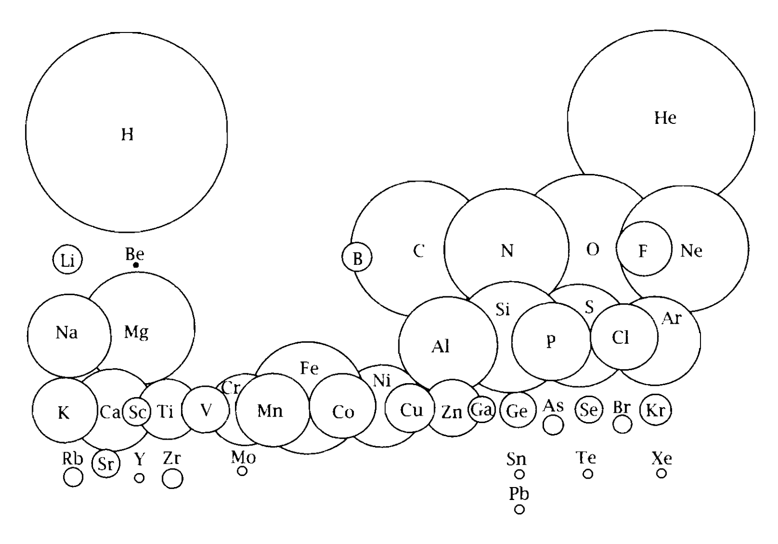
الآن وبعد أن اطلعنا على الجدول الدوري، لنقم بجولة قصيرة. تعد الكثير من عناصر الجدول الدوري مثل الحديد (Fe) (الرمز مأخوذ عن الكلمة اللاتينية Ferrum) والنيتروجين (N)، والفوسفور (P) والأوكسجين (O) والكربون (C)، عناصر مألوفة، في حين لا تكون بعض العناصر الأخرى مألوفة مثل التكنتيوم (Tc) واللانثانم (La). فنحن نألف الهيدروجين والأوكسجين لوجودها في الهواء الذي نستنشقه والأرض التي نمشي عليها، لكن مهما استنشقنا من الهواء أو حفرنا الأرض، لن نتوقع أبدًا أن نستنشق ذرة من اللورانسيوم (Lr) أو

نكتشف جرامًا من السيبورجيوم (Sg)، وليست هذه العناصر غير مألوفة لصعوبة نطقها أو استهجاء حروفها فحسب (مع أنه يمكن إثارة الجدل حول هذا أيضًا)، بل هي غير مألوفة أيضًا في علمَيِ الكونيات والفيزياء، ويرتبط السبب في ذلك بما يعرف بنظرية الانفجار العظيم.

وطبقًا لنظرية الانفجار العظيم، نشأ عالمنا نتيجة انفجار هائل لا يمكن تصوره (لذا سُمي بالانفجار العظيم)، ثم تكثفت أنقاض هذا الانفجار العظيم في البداية إلى العناصر الأخف وهي الهيدروجين والهليوم لأنها تكون بسيطة نسبيًّا، إذ يتألف الهيدروجين من بروتون وإلكترون، ويتألف الهليوم من بروتونين ونيترونين وإلكترونين. وعندما يتجمع عدد كافٍ من الذرات معًا وتبدأ الكتلة في الانضغاط تحت ثقل جاذبيتها، حتى تبدأ فعليًّا هذه النوى في الاندماج لتكون نوى الذرات الأثقل، وأثقل نواة تكونت في الكواكب الأولى في غضون عملية الاندماج، أي اندماج النوى معًا، هي نواة الحديد. ولكي تحوي الشمس عناصرها كان لا بد أن تبدأ في عملية اندماجها مع بعض النوى الأثقل الموجودة بالفعل، مما يحتمل أن الشمس من نجوم الجيل الثالث، أي أنها تكونت نتيجة لتجمع الغبار الناجم عن انفجارات نجمين سابقين، ومع ذلك — وحتى عند النظر إلى الوفرة النسبية للعناصر الموجودة في الشمس كما هو مبين في شكل رقم ١-٢-٧ — فإنه يتبين أن العناصر الخفيفة مثل الهيدروجين والهليوم لا تزال تتصدر العناصر الباقية من حيث احتلالهما للحجم الأكبر من الشمس.

يوضح انتشار العناصر في الشكل رقم ١-٢-٧ بمقياس لوغاريتماتي: تمثل التغييرات في أنصاف أقطار الدوائر التغيرات في الحجم أو أس الرقم عشرة مثل مقياس الديسيبل (وحدة لقياس التفاوت بين شدتي صوتين)، فتزيد شدة الصوت الذي يسجل مقياس ٢٠ ديسيبل عشرة أضعاف الصوت الذي يسجل ١٠ ديسيبل، وشدة الصوت الذي يسجل ٣٠ تكون مائة ضعف الصوت الذي يسجل ١٠ ديسيبل، وفي هذا الجدول الدوري يمثل نصف قطر الدائرة المحيطة بالعنصر مضاعفات الرقم عشرة.

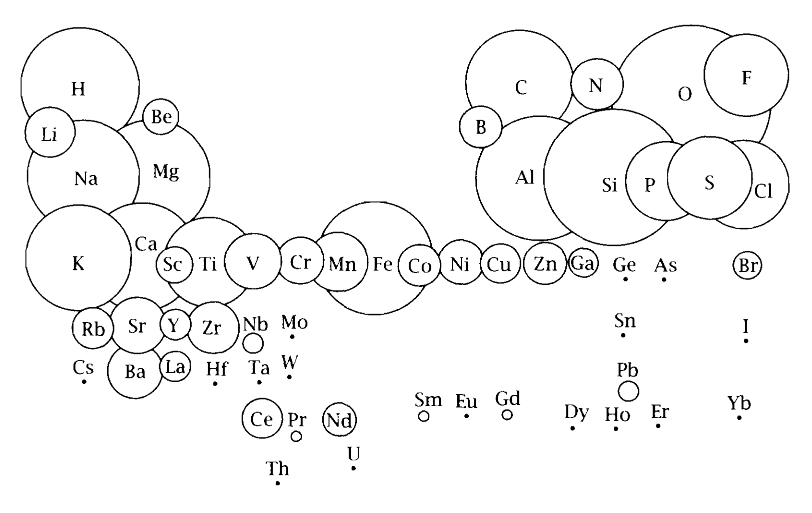
نحن نستخدم المقياس اللوغاريتمي لقياس وفرة العناصر لوجود فرق شاسع بينها، فتشبه محاولة مقارنة مدى انتشار العناصر، في غياب هذا المقياس، محاولة رسم جودزيلا (وحش عملاق) إلى جانب فأر في نفس الإطار (وقد يكون هذا سبب عدم وجود فيلم يمكن أن يحمل عنوان: «جودزيلا



شكل ١-٢-٧: انتشار العناصر الموجودة في الشمس. عُدلت بناء على تصريح من ستيفن أي. داتش لمقال «الجدول الدوري للعناصر المنتشرة» الصادر عن مجلة تعليم الكيمياء عدد ٧٦ (١٩٩٩): صفحة ٥٨-٣٥٦.

يتحدى الفأر الخارق!»). فناطحة السحاب في الفيلم يمكن أن تظهر بجانب جودزيلا وليس الفأر. ولن نشغل أنفسنا بدقة الأرقام هنا، نحن نريد فقط أن نشعر بالانتشار النسبي للعناصر وهذا يمكن تقديمه جيدًا بواسطة الدوائر.

ثمة قفزة بعد الهيدروجين والهليوم إلى الكربون ويعزى ذلك إلى أن النوى المركزية تكون غير ثابتة على نحو لا يسمح لها أن تتكوّن في غضون عملية الاندماج النووي، وتحوي ذرة الهليوم بروتونين في نواتها والكربون لديه ستة بروتونات في نواته، لذا يمكن أن تتكوّن ذرة كربون من اندماج ثلاث ذرات هليوم، وهي عملية تتطلب حرارة وكثافة شديدتين لنجوم ضخمة. يعقب هذا تفضيل مميز للنواة التي بها عدد زوجي من البروتونات في نواتها، فالأوكسجين به ثمان بروتونات في نواته والنيون به عشرة بروتونات والماغنسيوم به اثنا عشر بروتون وهكذا. ويمكن شرح هذا التفضيل في ضوء نظريات الفيزياء الذرية، لكنه ليس موضوعنا الآن. وقد لاحظنا أن العناصر الضرورية للحياة مثل الهيدروجين والكربون والنيتروجين والأوكسجين والصوديوم والماغنسيوم والفوسفور والكالسيوم والحديد، وهلم جرًّا، توجد جميعها في الشمس أيضًا.

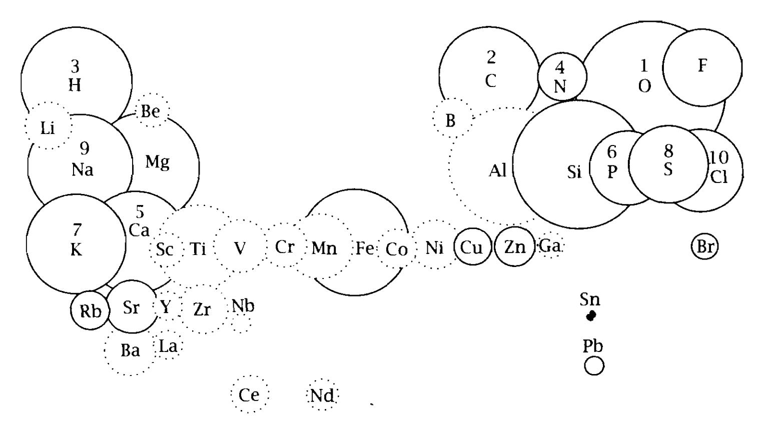


شكل ١-٢-٨: انتشار العناصر في قشرة الأرض. وقد عُدلت بناء على تصريح من ستيفين أي. داتش عن مجلة تعليم الكيمياء «الجدول الدوري للعناصر الغزيرة» ٧٦ (١٩٩٩): ٣٥٦–٥٨.

وفي بعض الأحيان تتكثف بقايا الانفجار العظيم وانفجارات النجوم إلى كوكب بدلًا من نجم آخر، وهو ما يُرجح حدوثه مع كوكب الأرض. ويمكن أن نستدل من انتشار العناصر الموجودة في قشرة أرضنا الموضحة في شكل ١-٢-٨ أن عناصر الأرض هي بالتقريب عناصر الشمس نفسها ولكن مستنفدة في أكثر العناصر تطايرًا مثل الهليوم والهيدروجين.

ويوضح الثراء النسبي لعناصر الألمنيوم والسليكون مقارنة بالحديد والنيكل حدوث تغير في الاتجاه لمصلحة العناصر الأخف؛ لأننا ننظر إلى قشرة الأرض فيتضح لنا، أنه نتيجة للتغيرات المناخية الشديدة في آلاف السنين، أن العناصر الثقيلة قد اتجهت نحو باطن الأرض أما العناصر الأخف فقد ارتفعت إلى القمة.

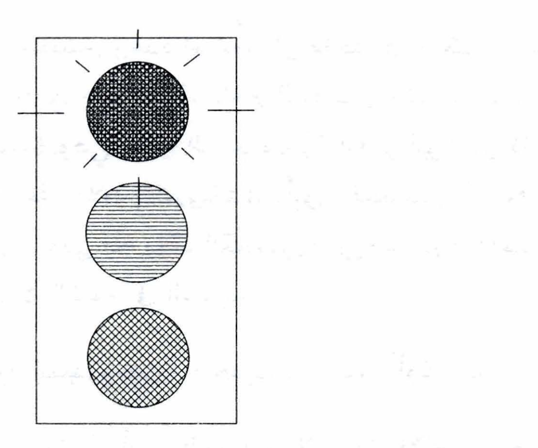
وفي شكل ١-٢-٩ نقارن الأربعين عنصرًا التي تتبوأ القمة في القشرة الأرضية بعناصر القمة العشرة في جسم الإنسان،[٢] مؤكدين مرة أخرى لمعظم الناس أنه — وقد يكون هذا محبطًا لعلماء النظريات الخاصة بالحياة خارج الأرض — يمكن أن يكون انتشار العناصر في جسم الإنسان مشابه لانتشار العناصر الموجودة على الأرض على نحو لافت للنظر مما يزيد التأكيد بشأن أصولنا التطورية. وفي ترتيب تنازلي للكميات، يتألف جسم الإنسان من



شكل ١-٢-٩: مقارنة بين عناصر القمة الأربعين الموجودة في القشرة الأرضية وعناصر القمة العشرة في جسم الإنسان، وتُرقم العناصر الموجودة في الجسم لبيان انتشارها، ويكون الأوكسجين المرقم برقم (١) أكثرها وفرة، ثم يليه الكربون المرقم برقم (٢)، إلخ.

أوكسجين وكربون وهيدروجين ونيتروجين وكالسيوم وفوسفور وبوتاسيوم وكبريت وصوديوم وكلور، وتوجد عناصر أخرى لكن بكميات أقل من ٠,١٪.

إلا أن هناك بعض الاستثناءات المثيرة؛ فالسليكون الذي يوجد في كل حبة من الرمال التي يطؤها كل مخلوق يوميًّا ويستحوذ عليه كل جذر من جذور النباتات، لا وجود له بين عناصر القمة العشرة في جسم الإنسان. ولا ينعدم الألمنيوم — الذي يبرز في القشرة الأرضية — من عناصر القمة العشرة بجسم الإنسان فحسب، بل أيضًا تُجرى الأبحاث عنه لارتباطه بتلف الأعصاب.[٤] ولا يبلغ اليود أي مرتبة في قائمة عناصر القمة الأربعين للقشرة الأرضية، ومع ذلك فغيابه من جسم الإنسان يتسبب في الإصابة بتضخم الغدة الدرقية. ويمكن أن نخلص من هذه المقارنة إلى أنه ليس الوجود الفيزيائي للعنصر هو الذي يحدد أهميته فحسب، بل نشاطه الكيميائي أيضًا، لذا اسمحوا لنا أن ننتقل إلى هذه المملكة.



تجربة ٣: كيمياء منضبطة

«تلتهم النيران الأرضية الأشياء أيضًا بدرجة سريعة إلى حد ما، تتوقف على مدى قابلية الشيء نفسه الذي تداهمه النيران للاحتراق، من ثم نجحت العبقرية البشرية في اختراع مستحضرات كيميائية لكبح نشاطها أو تثبيطه.»

جيمس جويس «Portrait of the Artist as a Young Man» ١٩١٥

ارتد نظارة الأمان الواقية. اغرف ملعقتي طعام (٣٠ مليلتر) من محلول خلات الحديد (محلول الخل مضاف إليه الصوف الفولاذي المُنحل المُدرج في «قائمة المشتريات والمحاليل») في طبق بلاستيكي رقيق. أضف ملعقة شاي (٥ مليلتر) من النشادر. ينبغي أن يتحول لون المحلول الناتج من اللون البرتقالي المائل للبني إلى الأخضر الداكن. الآن صب ملعقة شاي (٥ مليلتر) من فوق أكسيد الهيدروجين. يتلون المحلول الناتج بلون أحمر قانٍ مثل لون الجلطة الدموية شديدة الحمرة.

ماذا حدث إذن؟ يستوعب الحديد — شأنه في ذلك شأن النيتروجين — أعدادًا مختلفة من الإلكترونات التي ترتبط بنواته. تعبر حالة تأكسد عنصر ما في

البيئة المتاحة — سواء كان العنصر وحده أو أيونًا أو متحدًا في مركب — عن حمل العنصر من الإلكترونات في هذه البيئة. يتغير الحديد في التجربة الحالية بين حالتين مختلفتين للأكسدة وهي: أيون الحديديك (Fe^{3+} أو أيون ذو ثلاث شحنات موجبة بمعنى أنه يفقد ثلاث إلكترونات)، وأيون الحديدوز (Fe^{2+} أو أيون ذو شحنتين موجبتين بمعنى أنه يفقد إلكترونين). ويعتبر فوق الأكسيد هو العامل الذي سبب حدوث التغيير في الحديد.

حديدوز + فوق أكسيد الهيدروجين ⟵ حديديك + ماء + أوكسجين

تغير الحديد من أيون الحديدوز إلى أيون الحديديك لأن فوق الأكسيد يجذب الإلكترونات بعيدًا عن الحديد. ويستخدم فوق أكسيد الهيدروجين الإلكترونات الزائدة ليتغير إلى ماء وغاز الأوكسجين الذي يخرج في شكل فقاقيع من المحلول في أثناء التفاعل. ويأخذ المركب الذي يتكون من الحديدوز والنشادر اللون الأخضر. وعندما يغير فوق الأكسيد أيون الحديدوز إلى حديديك، يقوم النشادر الذي لا يزال في المحلول ولم يتغير بعد، بتكوين مركب أحمر مع الحديديك. ويطلق على تفاعلات مثل هذه عندما تكتسب العناصر إلكترونات أو تفقد بعضًا منها «تفاعلات الاختزال» (إذا اكتسبت إلكترونات) و«تفاعلات الأكسدة» (إذا فقدت إلكترونات). ولأن هذه النوعية من التفاعلات يجب أن تحدث في الوقت نفسه، تسمى النتيجة المشتركة بتفاعلات الأكسدة والاختزال، وهي فئة من التفاعلات ذات أهمية في الماضي وفي الحاضر.



الفصل الثالث

الأسباب، والتفاعلات، والأكسدة والاختزال

«لقد كسروا أولًا المادة الخام إلى قطع صغيرة ونظفوها بأيديهم ... ثم رُتب الفحم والمادة الخام في كومات صغيرة وفي طبقات متتالية ... وبهذه الطريقة ... يتحول الفحم إلى حامض الكربونيك ثم إلى أكسيد الكربون، فالغرض من استخدامه هو اختزال أكسيد الحديد، أو بكلمات أخرى التخلص من الأوكسجين.»

جول فيرن في كتابه «الجزيرة الغامضة» ١٨٧٠

«من دون شك ثمة خطأ قوي حدث بدرجة قوية وفعالة مما جعل أجنة الحقيقة تنقطع أنفاسها: فالتنقيب عن الذهب أصبح في الوقت نفسه قضية مواد، وها هو جسد الكيمياء يستعد كي تعود إليه روحه من جديد، فقد وُلد لافوازيه.»

جورج إليوت في رواية «ميدل مارش» ١٨٧١

يغازل الإلكترون، تمامًا مثل العاشق المتقلب، أية نواة يجدها أكثر جاذبية بل قد يطير إليها بسرعة فائقة. وقد شاهدنا في التجربة الأخيرة، «الكيمياء المنضبطة»، الإلكترونات وهي تترك الحديد مختالة بنفسها لتنضم إلى فوق

أكسيد الهيدروجين. وصحيح أن الإلكترونات كانت راضية بأن تظل مع الحديد مادام لا يوجد ما هو أفضل منه على مقربة منها، لكنها فضلت الذهاب بعيدًا في حال وجود فوق أكسيد الهيدروجين، وبكلمات أخرى تتوقف درجة ارتباط الحبيب بمحبوبته، أي الإلكترون بالنواة على البيئة المحيطة؛ فأيون الحديدوز هو حديد فقد إلكترونين، وأيون الحديديك هو حديد فقد ثلاثة إلكترونات. وقد تحول مركب أمونيا الحديدوز الأخضر إلى أمونيا الحديديك الأحمر لأن فوق أكسيد الهيدروجين يتصرف مثل إسفنجة تمتص الإلكترونات.

وعندما يفقد العنصر إلكترونات، يُقال إنه تأكسد، وفي هذا حالة التفاعل موضع نقاشنا، يكون للقب تأثير ذو مغزى، فالأوكسجين يركز جهوده على الحديد ليأخذ إلكتروناته، لكن اسم «الأكسدة» يعتبر تسمية خاطئة في تفاعلات أخرى، فلا يُشترط وجود الأوكسجين لحدوث عملية الأكسدة، فعلى سبيل المثال: ارتد نظارتك الواقية، وخذ مشبك الأوراق المعدني (وليس البلاستيكي)، فك ثنية المشبك وضع طرفه المفكوك في محلول كبريتات النحاس، يكتسب المشبك طبقة نحاسية لامعة في غضون خمس دقائق. في هذه الحالة الخاصة تكتسب أيونات النحاس في المحلول الإلكترونات المفقودة من معدن المشبك وتتحول إلى معدن النحاس، وهو تبادل للإلكترونات يحدث دون حاجة إلى الأوكسجين.

وعندما يكتسب عنصر إلكترونًا يقال إنه اخْتُزِلَ. ويصف أول اقتباس في بداية هذا الفصل المقتبس عن جول فيرن مثل هذه العملية: استخلاص الحديد من خام الحديد. ويعد انصهار المعادن من أولى التفاعلات الكيميائية المنظمة التي يمكن التحكم فيها (ربما بعد الطبخ وصناعة الفخار والرسم والتخمر)، وعملية انصهار المعادن هي العملية التي أُطْلِقَ من أجلها مصطلح الاختزال على عملية اكتساب الإلكترونات، وذلك لأن المعدن المنصهر عن المادة الخام يزن أقل من وزنه قبل الاستخدام، بمعنى أن وزنه قد اخْتُزِلَ.

وتوجد معظم الفلزات الموجودة في الطبيعة في حالة امتزاج مع لافلز أو الأوكسجين أو الكبريت أو الكلور، وهذه المعادن مركبات في حالتها الخام وليست معادن نقية، ويُفصل الفلز عن اللافلز في أثناء عملية الانصهار من طريق تسخين المعدن مع مادة تتمتع بقدرة على جذب اللافلز أكبر من قدرته على جذب الفلز، وفي حالة العملية التي وصفها جول فيرن يكون اللافلز هو الأوكسجين والمادة الثانية التي لها قدرة عالية على جذب الأوكسجين هي

الكربون، الذي يدخل في تشكيل الفحم النباتي، وغالبًا تكون الأوكسيدات مثل ثاني أكسيد الكربون في الحالة الغازية التي تتصاعد تاركة وراءها الفلز النقي، وبفهم التركيب الذري ندرك أن الفلز اكتسب إلكترونات في أثناء عملية الاختزال من خام إلى فلز، من ثم أصبح الاختزال هو الاسم الذي يطلق على عملية اكتساب الإلكترونات. ويُدعى اختبار الفحم «أكسدة» لأن الكربون يختلط مع لافلز لينقله بعيدًا، وفي معظم الأوقات يكون هذا اللافلز هو الأوكسجين. ويفقد الكربون إلكترونات على المستوى الذري، لذا أصبح فقد الإلكترونات معروفا «بالأكسدة». وأصبحت الخصائص المميزة لتفاعلات الاختزال والأكسدة هي أن العنصر المُختَزل هو الذي يكتسب إلكترونات والعنصر المؤكسد الذي يفقد إلكترونات، وهو اصطلاح يمكن تضمينه بإيجاز في العبارة الآتية: «الأكسدة هي فقد إلكترونات، والاختزال هو اكتساب إلكترونات». وحينما يكون هناك أكسدة لا بد أن يصاحبها اختزال، بمعنى أنه يجب أن يوجد زوجا التفاعل معًا، فلا يمكن أن تُفقد إلكترونات دون أن تذهب هذه الإلكترونات إلى مكان ما.

وتعد محاليل كبريتات النحاس وخلات الحديد المعدة طبقًا للوصفات المذكورة في «قائمة المشتريات والمحاليل» أمثلة على تفاعلات الأكسدة والاختزال؛ إذ يفقد فلز النحاس في محلول كبريتات النحاس إلكترونين ليصبح أيون Cu^{2+}، من ثم فهو متأكسد. والدخان الذي يتكون من مركبات النيتروجين والأوكسجين الموجود في نترات الصوديوم يُختزل إلى مركبات النيتروجين والأوكسجين المتطايرة، وفي محلول خلات الحديد، يتأكسد الحديد الموجود في الصوف الفولاذي إلى أيون Fe^{2+} (تذكر أن رمز الحديد Fe المأخوذ عن الكلمة اللاتينية Ferrum). والإلكترونات التي يفقدها الحديد يكتسبها الهيدروجين في الخل ليشكل فقاعات غاز الهيدروجين التي قد تكون قد لاحظتها في محلول خلات الحديد.

ويمكن إجراء إثبات مُقنع لحقيقة أن معظم الفلزات التي توجد في الطبيعة توجد في شكل مخاليط (مع لافلزات) عن طريق جولة على شاطئ أو في منطقة صخرية حيث يجد المرء الرمال والصخور بكافة الأشكال والألوان، لكن إذا كان المرء محظوظًا بما يكفي فإنه يجد قطعًا من الفلزات النقية، ويستحيل أن نجد فلزات نقية. لكن من الممكن العثور على كتل ذهبية نقية كما حدث في فترة التهافت على ولاية كاليفورنيا التي حدثت بعد اكتشاف الذهب فيها. ولكن مثل هذه الاكتشافات يندر حدوثها وهو الأمر الذي يعطي للذهب قيمته

المادية الثمينة. وقد كانت الرغبة في تحويل أكثر الفلزات شيوعًا إلى ذهب هي أحد أهداف الخيمياء (وهي ممارسة قديمة غير نظامية للكيمياء بزغت في الإسكندرية بمصر ثم في أوربا في العصور الوسطي). وقد اعتقد الخيميائيون أنه إن كان بمقدورهم اكتشاف وصفة كيميائية صحيحة، فسوف يتمكنون من تحويل الفلزات الأخرى إلى ذهب، استنادًا على التحويل الغني بالألوان مثل الذي شاهدناه في تجربتنا «الكيمياء المنضبطة». وقد أشار جورج إليوت إلى «التنقيب» في الاقتباس ببداية هذا الفصل من كتاب «ميدل مارش»، وأشار إلى أن الخيميائيين قد فشلوا في العثور على طريقة لصنع الذهب، لكن جهودهم قادت إلى الكثير من الاكتشافات الجوهرية مثل اكتشاف الأوكسجين باعتباره عنصرًا نقيًّا، وقد قام بهذا الاكتشاف العديد من العلماء في الوقت ذاته تقريبًا، وكان من بينهم أنطوان لافوازيه، الكيميائي الفرنسي الذي أشار إليه جورج اليوت على أنه روح الكيمياء. وفي حين وُلد لافوازيه ليكون روح الكيمياء، فإنه أُعدم على المقصلة في الثورة الفرنسية! قد تكون هناك متعة للكيمياء لكن لا يمكن أن تنطبق هذه الكلمات دائمًا على السياسة!

وكما توضح جولتنا السريعة منذ كيمياء ما قبل التاريخ إلى الثورة الفرنسية، فقد لعبت تفاعلات الأكسدة والاختزال المتزاوجة دورًا مستمرًّا في تاريخ البشرية، وفي دراستنا عن كيمياء ما قبل التاريخ، التي استغرقت جملة واحدة (وهي الجملة السابقة) لم نذكر تفاعل الأكسدة والاختزال الخاص بإشعال النيران ذي الأهمية القصوى، ولكننا سنُضمنه الآن لأنه قد اتضح أن الاحتراق هو أكثر تفاعلات الأكسدة والاختزال شهرة وفي الوقت نفسه أكثرها تمتعًا بسمعة سيئة!



على سبيل المثال:

رجال الإطفاء وكيمياء الاحتراق

الاحتراق، بكافة أشكاله، تفاعل خلاب، بدءًا من لهب الشمعة الخفيف ومرورًا بالراحة التي تبعثها المدفئة ووصولًا إلى الترحيب الحار لنار المخيم، لكن يعتبر الاحتراق في هذه الحالات تحت السيطرة، أما في الحالات التي يخرج الاحتراق من تحت

السيطرة يتحول ذلك الافتتان إلى رعب تام، ولحسن الحظ، يوجد أناس يواجهون ذلك الرعب باستمرار لحماية آخرين من المخاطر، ويمكن لأية دراسة موجزة لكيمياء الاحتراق أن توضح شدة التحدي الذي يواجهونه. ويعد تفاعل الاحتراق البدائي هو تفاعل أكسدة واختزال مباشر، وعادة يكون المركب المكوّن في المقام الأول من الهيدروجين والكربون أي الهيدروكربون هو الوقود، وعندما يمتزج الهيدروكربون بالأوكسجين يتفاعلان معًا لينتجا ثاني أكسيد الكربون (CO_2) والماء وحرارة.

هيدروكربون + أوكسجين ← ثاني أكسيد الكربون + ماء + حرارة

وفي هذا التفاعل يتأكسد الكربون (يكتسب الكربون أوكسجين هذه المرة حرفيًّا)، ويكتسب غاز الأوكسجين ما يكفي من إلكترونات لجذب الهيدروجين وتكوين الماء ومن ثم فهو يُختزل.

الجازولين هو هيدروكربون، والتفاعلات التي تحدث في أسطوانة السيارات هي تفاعلات احتراق يمتزج فيها الهيدروكربون والأوكسجين معًا كما في المعادلة السابقة، لذلك يتكون عادم السيارة، الذي هو ناتج التفاعل، في الأساس من ثاني أكسيد الكربون والماء. والسكر والنشا من الهيدروكربونات أيضًا، ولما كان الأوكسجين هو الغاز الذي نتنفسه، وعليه تكون الحرارة الناتجة عن عملية الهضم تفاعل احتراق بالمثل. وهذا الهضم هو نوع من الاحتراق يمكن برهنته بإطفاء شمعة: فاندفاع الهواء الذي به قليل من الأوكسجين والغني بثاني أكسيد الكربون يطفئ اللهب ويمنع عنه الأوكسجين. والخشب والورق والعشب الجاف هيدروكربونات في الأساس: فهي تقوم بدور الوقود الممتاز وتُسَعِّر نيرانًا مدمرة. ويسبب استهلاك النار للأوكسجين وتكوّن ثاني أكسيد الكربون الاختناق لرجل الإطفاء الذي تعد مخاطره جسيمة تمامًا مثل مخاطر الجرح الحراري.

ويمكن توضيح ضرورة الأوكسجين للاحتراق عن طريق تنكيس كوب شفاف غير بلاستيكي على شمعة، وبعد أن يُستنفد كل الأوكسجين الموجود في الكوب تنطفئ الشمعة. وقد يصعب قليلًا إثبات أن ثاني أكسيد الكربون هو ناتج الاحتراق لكنه ليس مستحيلًا: فارتد نظارة الأمان الواقية والقفازات. خذ كوبين متشابهين غير بلاستيكيين (مصنوعين من الزجاج الخالص). ضع

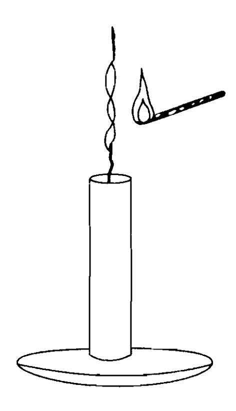
في أحدهما أربع ملاعق شاي (٢٠ مليلتر) ماء. أضف نقطتين من دليل قلوية ماء حوض السمك المطلوب شراؤه في «قائمة المشتريات والمحاليل» ضع كلا الكوبين على فرخ ورق أبيض لتوضيح الرؤية، ينبغي أن تلاحظ أن الكوب الذي يحوي الماء قد تلون بلون أزرق مخضر باهت.

أشعل الشمعة تحصل على لهب قوي مستمر. نكس الكوب الفارغ فوق الشمعة. اترك اللهب مشتعلًا لفترة. انزع الكوب عن الشمعة ثم صب فيه على الفور محلول دليل القلوية من الكوب الآخر، سد فوهة الكوب بسرعة بكف يدك ثم رج المحلول قليلًا حتى يمتزج بالغازات المتصاعدة من لهب الشمعة. ضع الكوب مرة أخرى على الورقة البيضاء ولاحظ تغيير اللون؛ يغير ثاني أكسيد الكربون الموجود في الغازات المتصاعدة من لهب الشمعة دليل الماء من الأزرق المخضر إلى الأصفر.

كيف لنا أن نعرف أن ثاني أكسيد الكربون هو الذي أحدث هذا التغيير؟ خذ كأسًا نظيفًا وجهز محلولًا آخر مكوّنًا من: أربع ملاعق شاي ماء (٢٠ مليلتر) مع نقطتين من دليل قلوية حوض السمك، وانفخ بالونًا ثم اضغط على فوهتها لتبقيها مغلقة ثم ضع فوهتها في طرف ماصة ثم ضع الطرف الآخر للماصة في محلول دليل القلوية. عندما تخفف من ضغطتك على فوهة البالون يعمل ثاني أكسيد الكربون المنطلق مباشرة من رئتيك، عند نفخ البالون، فقاعات في المحلول وتشاهد الدليل يتحول مرة أخرى من الأزرق المخضر إلى الأصفر.

ويمكن إثبات وجود الماء الناتج من الاحتراق باستخدام مكعب ثلج وكوب غير بلاستيكي أو طبق فنجان غير بلاستيكي. نكس الكوب على لهب شمعة دقيقة مع مكعب الثلج بحيث يوضع في وضع متوازن فوق الكوب من الخارج. تتكثف الرطوبة الخارجة من اللهب في جوانب الكوب. ضع مكعب الثلج بالتبادل على الطبق ثم عرض الطبق للهب دون أن يلمس اللهب. تتكثف الرطوبة في قاع الطبق.

يمكن أحيانًا ملاحظة الرطوبة على ملعقة معدنية معرضة للهب، ولا يكون الماء وحده هو المادة التي نلحظها على الملعقة، إذ يتكون السُّخام أيضًا. ولا تكون عملية الاحتراق دائمًا تفاعلًا نظيفًا وبسيطًا كما هو موضح سابقًا، لكنها خليط معقد للعديد من التفاعلات التي ينتج عنها بعض الهيدروكربونات



شكل ١-٣-١: قرب عود ثقاب مشتعل من فتيلة شمعة مطفأة توًّا، فتجد أن اللهب يقفز عبر الغازات المحترقة ويشعل الفتيلة المطفأة مرة أخرى.

أو السُّخام، وينشأ أكثر آثار الاحتراق إثارة عن عدم اكتمال الاحتراق وأكثر التفاعلات تعقيدًا.

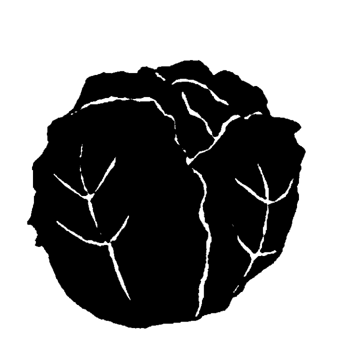
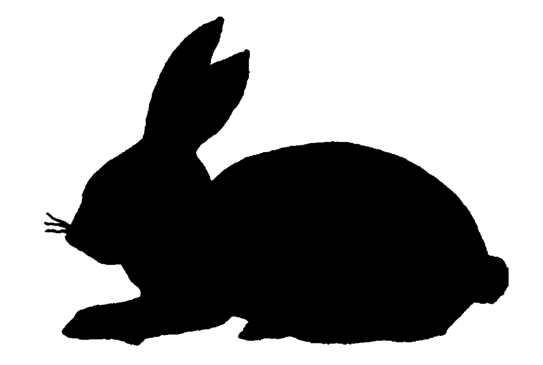
فعلى سبيل المثال، يمكن أن تنتشر النيران ككائن حي يتحرك في موجات، فجزء من عملية الانتشار يُعزى إلى تساقط أو تطاير الحطام المشتعل، لكن لأن اللهب هو غازات محترقة، فيمكن لهذه الغازات والنيران أن ترحل أينما ترحل الريح. ولترى أن اللهب يحوي غازات محترقة، جرب التجربة الآتية: حاول أن تعثر على منطقة خالية من النسمات، وأخلِ المنطقة من أية مادة قابلة للاشتعال (بما في ذلك الشعر المتساقط والملابس). ارتد نظارة الأمان الواقية. أشعل شمعة بعود ثقاب خشبي. ابقِ العود جانبًا وهو لا يزال مشتعلًا. أطفئ الشمعة ثم على الفور أحضرْ عود الثقاب المشتعل بالقرب من الفتيلة المطفئة دون أن تجعل عود الثقاب يلمس الفتيلة كما هو موضح في شكل ١-٣-١. يقفز اللهب من عود الثقاب إلى الشمعة إذ ينتقل اللهب بسرعة إلى الفتيلة من طريق الغازات المحترقة. ربما عليك أن تحاول مرتين قبل أن تجريها على نحو صحيح، لكن حتمًا ستنجح.

ولا تنتشر النيران عن طريق القفز عبر الهواء أو الانتقال عن طريق الحطام المتطاير فحسب، فالتباين في ضغط الهواء يرتبط أيضًا بالنيران لأنها تستهلك الأوكسجين وتنتج حرارة، ويسبب استهلاك الأوكسجين خواءً جزئيًّا في مصدر اللهب المملوء بالهواء القادم من الجوانب. ويسبب التيار الهوائي

الساخن فوق اللهب حدوث تيار هوائي صاعد. وتتحد جميع القوى معًا لخلق تيارات حمل حراري وتباين في الضغط لافتة للنظر. وكما أن تباين الضغط الجوي في الغلاف الجوي يفضي إلى حدوث الأعاصير، كذلك يفضي تباين الضغط حول النيران إلى حدوث ما يعرف «بالانفجار» وهو دوامة نارية تتنقل بسرعة تعادل تقريبًا سرعة الرياح.

وقد ذكر نورمان مكلين في بحثه الرائع «شباب ونيران» أن هذه الظاهرة الطبيعية لا يمكن فهمها فهمًا جيدًا نظرًا لقلة الملاحظات المباشرة المتاحة، إذ ينبغي أن يكون الملاحظ هو أحد الناجين من هذه النيران والشخص الذي ينجو من النيران لا ينتظر في الجوار ليلاحظ ماذا يحدث.[١] ومع ذلك فطبقًا للتفاصيل التي أوردها مكلين نجد أن شخصًا واحد من رجال الإطفاء مستخدمي المظلات هو من تمكن من النجاة من إحدى هذه الدوامات النارية، لقد احترقت الأجزاء العارية منه في أول الانفجار ثم طمر وجهه في رماد الجثث المحترقة حتى انقضى الانفجار وهو حدث استغرق خمس دقائق حسب ساعته، وأردف أن دوامة النيران سحبته عدة مرات عن الأرض لكنه كان قادرًا أن يحفظ أدنى حد من التنفس بسبب الأوكسجين الذي كان قريبًا من الأرض. لقد كان هذا الأوكسجين ضروريًّا للاحتراق الذي يحدث داخل جسمه، تفاعلات الأكسدة والاختزال التي كان ينبغي أن تستمر إذ كان من المقدر له أن يعود ليتلو قصته.

ومع أن تفاعلات الأكسدة والاختزال منتشرة للغاية، فإنها بالطبع لا تمثل كل جوانب الكيمياء، فثمة نوع آخر شائع جدًّا وغاية في الأهمية من التفاعلات موجود في التفاعلات الحامضية-القاعدية التي تحدث في الهواء وفي البشرة والمعدة والبالوعة وحتى في حمامات السباحة وأحواض الأسماك. فدليل قلوية حوض السمك الذي استخدمناه في الكشف عن ثاني أكسيد الكربون هو دليل للأحماض والقواعد؛ فهو يعمل على الكشف عن ثاني أكسيد الكربون لأن ثاني أكسيد الكربون المذاب في الماء يجعل الماء مشوبًا قليلًا ببعض الخواص الحامضية. أيبدو الأمر مثيرًا؟ واصل القراءة.

تجربة ٤: دليل الكرنب الأحمر

> «تشبه التراجيديا الحامض اللاذع؛ فهي تبدد كل شيء فيما عدا الحق النفيس.»
>
> الأديب البريطاني ديفيد هربرت لورانس في
> «خطابات ديفيد هربرت لورانس» ١٩٢٠

لقد كان معروفًا منذ أوائل القرن السابع عشر على الأقل، وربما قبل ذلك بكثير، أن بعض النباتات والأزهار التي تتمتع بألوان كثيفة مثل الكرنب الأحمر، تحوي صبغة تتخذ ألوانًا متعددة في البيئات الكيميائية المختلفة، وتُسمى مثل هذه الصبغة بالدليل لأن لونها يدل على بيئتها، ويستخدم دليل الكرنب الأحمر للاستدلال على إذا ما كان المحلول حامضيًّا أو قاعديًّا، وباختصار المحاليل الحامضية هي محاليل لاذعة مثل عصير الليمون والخل، والمحاليل القاعدية هي محاليل كاوية ومُرة مثل الصابون السائل والنشادر المنزلي.

ولكي نرى كيف يعمل هذا: ارتد نظارتك الواقية ثم أضف نحو ملعقة طعام (١٥ مليلتر) من دليل الكرنب الأحمر (معد كما هو مذكور في قائمة المشتريات والمحاليل) إلى كوب (٢٤٠ مليلتر) ماء، ولاحظ اللون، ينبغي أن يكون

دليل الفينول الأحمر المستخدم لاختبار قلوية مياه حمام السباحة	
الماء	برتقالي محمر
الخل	أصفر
النشادر	بنفسجي محمر
بيكربونات الصودا	وردي
دليل البروموثيمول الأزرق المستخدم في اختبار قلوية ماء حوض السمك	
الماء	أزرق مخضر
الخل	أصفر باهت
النشادر	أزرق باهت
بيكربونات الصودا	أزرق
دليل الكرنب الأحمر	
الماء	بنفسجي
الخل	وردي فاقع
النشادر	أخضر
بيكربونات الصودا	أزرق مخضر

أرجوانيًّا باهتًا. الآن قم بإعداد محلول مشبع من بيكربونات الصودا المذابة في الماء، والمحلول المشبع محلول لا يقبل المزيد من المادة الصلبة لكي تذوب فيه، وبيكربونات الصودا غير قابلة للذوبان التام في الماء، من ثم لا يتطلب الأمر أكثر من ملعقتي طعام (٣٠ مليلتر) من بيكربونات الصودا لكوب الماء الواحد (٢٤٠ مليلتر). ويصبح المحلول مشبعًا عندما تبدأ بيكربونات الصودا في الترسب في قاع الكوب ولا يذوب المزيد منها. أضف دليل الكرنب الأحمر إلى هذا الخليط وسيتحول إلى اللون الأزرق. تذوب بيكربونات الصودا إلى أيونين في الماء، وهما أيون الصوديوم وأيون كربونات الهيدروجين، المعروف بالبيكربونات. ويكون أيون الصوديوم متعادلًا وأيون البيكربونات قاعديًّا. يتحول دليل الكرنب الأحمر إلى اللون الأزرق في محلول بيكربونات الصودا، من ثم يشير اللون الأزرق أن المحلول قاعدي عند استخدام دليل الكرنب الأحمر.

أضف بعضًا من دليل الكرنب الأحمر إلى عينة من الخل، وطبعًا يُعرف الخل بأنه حامضي، يغير الخل لون دليل الكرنب الأحمر إلى اللون الوردي

اللامع، ومن ثم يشير اللون الوردي إلى أن المحلول حامضي عند استخدام دليل الكرنب الأحمر.

وباستخدام كوب (٢٤٠ مليلتر) من عينات من محاليل بيكربونات الصودا المشبعة والخل والنشادر والماء يمكنك أن تنشئ الجدول الآتي من المحاليل، ولاحظ الألوان التي تنتج عندما تضيف دليل الكرنب الأحمر ودليل حمام السباحة ودليل حوض السمك.

والآن خذ بعضًا من بيكربونات الصودا الصافية المطلوب شراؤها في قائمة المشتريات والمحاليل، ثم أضف دليل الكرنب الأحمر. ينبغي أن تلحظ محلولًا لونه وردي باهت. تعتبر بيكربونات الصودا حامضية قليلًا لأن ثاني أكسيد الكربون يذوب في الماء ليكوّن حامض الكربونيك. الآن خذ محلول بيكربونات الصودا ودليل الكرنب الأحمر ثم صب ببطء وحذر السائل الأزرق الذي يعلو بيكربونات الصودا غير المذابة (عملية تُعرف «بالتصفية» لدى خبراء الكيمياء والخمر على حد سواء) على محلول بيكربونات الصودا ودليل الكرنب الأحمر. في نهاية المطاف ينبغي أن يتلون السائل بلون قريب جدًّا للون الدليل في الماء الصافي، لماذا؟ لأن الحامض يعادل القاعدة والعكس صحيح، وما هو المحلول المتعادل؟ الماء هو المحلول المتعادل، وماذا كان يستخدم قديمًا لعلاج حموضة المعدة؟ إنها بيكربونات الصودا.

شرابًا هنيئًا مريئًا!





الفصل الرابع

المواد القاعدية

«اطلب من آسيا كوبًا من الكريمة اللاذعة فستكون كعكتك خفيفة وبدون الكثير من الصودا، وما لا أحبذه هو الطلب الأول. لقد اندفع ديمي إلى الطابق السفلي ثم عاد بالكريمة وبوجه عابث لأنه تذوقها وهو في الطريق ووجدها لاذعة جدًّا حتى إنه توقع أن الكعكة ستكون غير صالحة للأكل. اقتبست السيدة جو هذه الواقعة لتلقي محاضرة قصيرة وهي على السلم عن الخواص الكيميائية للصودا، ولم تنصت إليها ديزي، لكن ديمي أصغى إليها وفهمها كما يتضح من رده الذي كان مختصرًا لكنه شامل إذ قال: نعم، أنا أفهم، فالصودا تحول الأشياء اللاذعة إلى أشياء مذاقها حلو، وإذا أخفقت في عملها فستكون خفيفة، فلنشاهدك وأنت تقومين بإعدادها يا ديزي.»

الروائية لويزا ماي الكوت في كتابها «رجال صغار» ١٨٧١

يعد تفاعل دمي اللاذع — الحلو، أما الحلو في الاقتباس السابق فهو تفاعل حامضي — قاعدي. فبيكربونات الصودا قاعدية (كما وجدنا في تجربة دليل

الكرنب الأحمر)، والكريمة اللاذعة هي خليط حامضي: فالكريمة اللاذعة تكون لاذعة بسبب النواتج الحامضية الناجمة عن فعل البكتريا. وقد شاهدنا في تجربة صاروخ الزجاجة محلول حامضي آخر وهو الخل الذي يلتقي ببيكربونات الصودا ويؤدي إلى تفاعل انفجاري، وما جعل كعكة ديزي خفيفة هو ذلك النوع من التفاعل نفسه لكن بمستوى أبسط:

الحامض + بيكربونات الصودا ← حامض الكربونيك

← ثاني أكسيد الكربون (غاز) + ماء

يتفاعل الحامض مع بيكربونات الصودا وينتج حامض الكربونيك الذي يتحول سريعًا إلى ثاني أكسيد الكربون وماء. وثاني أكسيد الكربون هو الغاز الذي تسبب في دفع السدادة في تجربة صاروخ الزجاجة وهو الذي أحدث الفقاقيع في كعكتنا الصغيرة الرقيقة. والسبب الذي جعلنا ننبهك لشراء بيكربونات الصودا في «قائمة المشتريات والمحاليل» بدلًا من البكينج بودر هو أن البيكينج بودر يحوي مركبًا حامضيًّا مثل كريمة الطرطير. وتعمل كريمة الطرطير كعامل للتخمير بمعنى أنها عندما تذوب في الماء مع بيكربونات الصودا فإنهما يتفاعلان ويكونان فقاقيع.

ولا تنتج كل التفاعلات الحامضية القاعدية مثل هذه النواتج المتطايرة، ويعد الخل حامضًا يدل على ذلك تغير لونه إلى اللون الوردي عند إضافة دليل الكرنب الأحمر. أما النشادر فهي قاعدية بسبب تغير لونها إلى اللون الأزرق عند إضافة دليل الكرنب الأحمر، لكن عند إضافة الخل والنشادر معًا بدون إضافة الدليل، لا تحدث أمارات التفاعل الكيميائي المعتادة، فلا يكون هناك أدخنة جديدة ولا رغاءٍ ولا انبعاث للحرارة أو للضوء ولا تغيير في اللون ولا تكوين مواد صلبة، ولولا الرائحة النفاذة للخل والرائحة الفجة للنشادر، لبدا الأمر كأنه مجرد إضافة سائلين مائيين شفافين معًا. لكن إذا أُضيف ملعقة شاي (٥ مليلتر) من دليل الكرنب الأحمر إلى كوب (٢٤٠ مليلتر) يحوي واحدًا منهما فقط قبل إضافتهما معا، تكون النتيجة تغير لون المحلول، ويستخدم الدليل ليبين حدوث التفاعل الكيميائي عندما لا توجد علامات أخرى واضحة.

ما هي الأحماض وما هي القواعد إذن؟ الخل فعليًّا هو محلول مُخفف لحامض الخليك في الماء، ما يقرب من ٥٪ محلول، لكنه يستطيع أن يبرز بدقة

الخواص المميزة للحامض: فهو لاذع ويحول دليل الكرنب الأحمر إلى اللون الأحمر أو الوردي، ويتفاعل مع القاعدة ليكوّن الماء. ويبرز محلول بيكربونات الصوديوم بشدة العديد من الخواص المميزة للقاعدة: فهو مر المذاق، ويحول دليل الكرنب الأحمر إلى اللون الأزرق، ويتفاعل مع الحامض ليكوّن الماء. وتعتبر آخر خاصية مذكورة لكل منهما فيما يخص تفاعلهما معًا هي بالفعل الخاصية المحددة لكل منهما، لأن التفاعلات الحامضية القاعدية تحدث في الوقت نفسه، شأنها في ذلك شأن تفاعلات الأكسدة والاختزال: فمادة واحدة تتفاعل كحامض ومادة واحدة تتفاعل كقاعدة، والحامض يعادل القاعدة والقاعدة تعادل الحامض.

وقد أدرك الناس فكرة التعادل — إبطال خواص إحدى المواد بخواص مادة أخرى — منذ أن وصف أقدم دساتير الصيدلة قشر البيض المسلوق المسحوق كدواء مريح لمشكلات المعدة. وقشرة البيضة هي في الأصل كربونات الكالسيوم وهي نفس المادة التي تكوِّن الطباشير، وهذه المادة لكونها قاعدية يمكنها أن تلغي تأثير الحموضة الزائدة في المعدة، وتنشأ هذه الحموضة طبيعيًّا في المعدة كي تساعد على هضم الطعام. وتسمى المواد القاعدية أيضًا بالمواد القلوية، ويُعزى جزء من هذه التسمية إلى القديم (فكلمة Alkali هي كلمة عربية الأصل «القلي»، مثل غيرها من الكلمات العربية الأصل أيضًا مثل الخيمياء alchemy، والكحول alcohol، والجبر algebra، والقبة alcove، واللوغاريتم algorithm ويُعزى جزء آخر إلى تجنب الارتباك، فعندما ندعو شيئًا «مادة قاعدية» سيتبادر لأذهاننا أننا ندعوها «مادة أساسية» وليس شيئًا يتفاعل مع الحامض.

ويمكن أن نجد كثيرًا من أمثلة التفاعلات الحامضية القلوية في الطهي مثل تفاعل كريمة الصودا اللاذعة المذكور في «رجال صغار»، علاوة على أنه من النتائج المؤسفة للأمطار الحامضية (التي سوف نناقش تركيبها فيما بعد) أن الحامض في المطر يتفاعل مع الكربونات الموجودة في الحجر الجيري والرخام الذي يسبب تآكل التماثيل التي تمكنت من النجاة بدون صدأ أو تحلل لآلاف السنين قبل مجيء عصر الصناعة. (وقبل أن نلقي باللوم التام على عصر الصناعة ينبغي أن نتذكر أيضًا أن بكتريا الطاعون الأسود، والجدري، والزهري قد تمكنت من أن تنجو لعدة سنوات قبل أن تتمكن التكنولوجية

الحديثة من أن تطيح بها.) وتبرز قدرة الأمطار الحامضية على إذابة الرخام خاصية أخرى مشتركة بين الأحماض والقلويات ألا وهي أنها مواد آكلة.

ويتناول اقتباس قصة «صاحب الظل الطويل» لجين ويبستر الذي ذكرناه في المقدمة خاصية التآكل ونكرره هنا نظرًا لملاءمته.

> «عليّ أن أذهب إلى المعمل وأمعن النظر في بعض المواد من أحماض وأملاح وقلويات، لقد أحدث حامض الهيدروكلوريك ثقبًا كبيرًا بحجم الطبق في معطف المعمل من الأمام. إذا نجحت هذه النظرية فسأكون قادرًا على معالجة هذا الثقب بالنشادر القوي، أليس كذلك؟»
>
> جين ويبستر في رواية «صاحب الظل الطويل» ١٩١٢

وتكمن الدعابة في أن القاعدة تعادل الحامض، لذا يفترض طلاب الكيمياء أن استعمال القاعدة سيبطل تأثير الحامض ويعيد المادة المتلاشية من المعطف، ومن المثير أن تلحظ أن قراء أوائل القرن العشرين كان يُفترض أنهم يفهمون المزحة دون الحاجة إلى شرحها، وأن طلاب الكيمياء في سنتهم الأولى في أوائل القرن العشرين كانوا يُشجعون على استخدام مواد كيميائية نشطة بدرجة كافية حتى تعمل على تآكل المعطف. لكن مفهوم الحامضية أصبح مألوفًا تمامًا في القرن الحادي والعشرين، فنحن نتحدث عن اللسان اللاذع والنقد اللاذع. وتمثل المحاليل الحامضية جزءًا من مطابخنا، فالخل هو محلول حامض الخليك والليمون هو محلول حامض الستريك، كما تحوي بيكربونات الصودا حامض الكربونيك. وتعتبر المواد والمحاليل القاعدية أيضًا جزءًا من خبرتنا العامة فالنشادر محلول قاعدي، ويستخدم اللي في إزالة الانسدادات من المصارف الصحية، وكثيرًا ما نستخدم المصطلحات الأقدم كالقلي أو القلوي للإشارة إلى المواد القلوية مثل «البطاريات القلوية» أو ضبط قلوية مياه حمامات السباحة. ومرض القلاء وهو حالة خطيرة تزيد فيها نسبة القلوية في الدم بسبب نقص ثاني أكسيد الكربون، يمكن أن تسببه زيادة التهوية الرئوية.

وفي حقيقة الأمر لا يمكن للجسم البشري ككل أن يؤدي وظائفه بشكل جيد إلا ضمن نطاق محدود جدًّا للقلوية والحامضية، لكن قبل أن نلقي بالصلصة الساخنة من أجل المنفعة الصحية، كونوا متيقنين من أن الجسم

البشري قد ابتكر طريقة لحفظ الدم عند مستوى القلوية الضروري المناسب للوظائف حتى إذا اسْتُخْدِمَ الخل في صلصة السلطة أو حتى إذا استنفدت المياه الغازية. والدم مُنظم بسائل مُنظِّم للقلوية: وهو محلول ذي نسب في غاية الدقة مكون من أحماض ضعيفة وقواعد ضعيفة، من ثم لن تسبب إضافة النسب الضئيلة من الحامض أو القاعدة حدوث تغيير ملحوظ في درجة القلوية، وقد تكون أكياس الملاكمة تشبيه جيد للسوائل المنظمة، فقد يترنح الخصم غير المتزن إثر لكمة واحدة في مكان مؤثر، في حين أن كيس الملاكمة المتزن يمكنه أن يمتص لكمات عديدة ويرجع إلى وضعه مرة أخرى لاستقبال المزيد. وكذلك يكون الحال مع المحلول المنظم الذي يمكنه أن يمتص صدمات هجوم المزيد من الأحماض والقواعد ثم يرتد مرة أخرى إلى وضعه الأصلي تقريبًا، ويمكن شرح هذا الموقف بسائل منظم آخر وهو اللبن.

خذ وعاءين شفافين صغيرين مما هو مطلوب في «قائمة المشتريات والمحاليل»، ثم أضف إلى كل منهما نصف كوب (١٢٠ مليلترًا) لبنًا كامل الدسم، ويجب استخدام لبن كامل الدسم لأن البقر لا يهتم كثيرًا بشأن السعرات الحرارية ويوفر المحاليل المنظمة التي تكوّن اللبن كامل الدسم وغير المقشود. خذ وعائيين شفافين صغيرين آخرين ثم أضف إلى كل منهما نصف كوب (١٢٠ مليلترًا) ماء. أضف إلى كل من الأوعية الأربعة عينات من دليل الفينول الأحمر من عبوة اختبار قلوية ماء حمامات السباحة المطلوبة في «قائمة المشتريات والمحاليل»، ولا يصلح دليل الكرنب الأحمر لهذه التجربة لأنك ستضطر أن تضيف كميات كبيرة منه حتى يصبح اللون واضحًا، ويؤدي المزيد من السائل إلى تخفيف اللبن ومن ثم يحدث خلل في فاعلية السائل المنظم، أما عن دليل قلوية حمام السباحة، فإن إضافة المزيد منه تؤدي إلى إكساب اللبن والماء لونًا أصفر باهتًا.

والآن أضف قطرة من محلول بيكربونات الصودا السائل الذي يعلو المادة الصلبة غير المذابة إلى إحدى عينات الماء وإحدى عينات اللبن، وإذا كانت القطارة المستخدمة للعين متاحة فذلك أيسر لك، وإلا فيمكنك أن تضع ماصة في المحلول وتغطي طرف الماصة بإصبعك حتى يمكنك أن تجذب قطرة، ثم قلِّب المحاليل. ينبغي أن يتحول لون المحلول الذي يحوي الماء المضاف إليه بيكربونات الصودا إلى اللون الوردي الفاقع، في حين يظل لون المحلول الذي

يحوي اللبن المضاف إليه بيكربونات الصودا كما هو أصفر باهتًا دون أن يتغير.

وأفضل طريقة للمقارنة هي وضع الوعاءين على فرخ ورق أبيض والنظر مباشرة إلى الوعاء من أسفل، فثمة اختلاف جلي في لون المحلول الذي يحوي الماء والدليل قبل وبعد إضافة بيكربونات الصودا، في حين لا يتغير لون المحلول الذي يحتوي على اللبن والدليل قبل وبعد إضافة بيكربونات الصودا؛ فاللبن نَظَّمَ تأثير بيكربونات الصوديوم أو عادله.

وثاني أكسيد الكربون هو الذي يقوم بعملية التنظيم هذه في الدم، وتعد بيكربونات الصودا أحد محاليل حامض الكربونيك المتكون عندما يصبح الماء مشبعًا بثاني أكسيد الكربون، ولقد شاهدنا في تجربة الكرنب الأحمر أن بيكربونات الصودا هي حامضية بمعدل ضئيل. ويتشبع دم الإنسان بثاني أكسيد الكربون فهو الناتج النهائي لعملية الهضم، ويُكَوِّن ثاني أكسيد الكربون حامض الكربونيك في الدم. وبيكربونات الصوديوم أو صودا الخبيز قاعدية كما رأينا في تجربة الكرنب الأحمر. وتنتج البيكربونات المكونة عن طريق إزالة جزء واحد من الهيدروجين من الكبد لتعمل كمادة قاعدية في الدم، ويستخدم ثاني أكسيد الكربون ليكوِّن المواد الحامضية والقلوية في الدم، وعندما تزداد نسبة الحامضية في الدم ترتفع نسبة البيكربونات لتعادل الزائد من الحامض. وعندما تزداد نسبة القلوية في الدم، يعادل حامض الكربونيك الزيادة من القلوية. ولكن كما يتضح من إضافة محلول بيكربونات الصودا مباشرة إلى المحلول المكون من اللبن والدليل، لدى السوائل المنظمة قدرة محدودة لامتصاص الحامض أو القاعدة؛ فاللبن سيأخذ سريعًا ظلًّا ورديًّا من ذاته. وإذا كانت أطراف التوازن في الدم بعيدة جدًّا بطريقة ما، فإنه من الممكن حدوث القلاء أو الحموضة وهما حالتان طبيتان في غاية الخطورة.

ولا يعتبر الدم هو النظام الوحيد في الجسم الذي يستلزم وجود بيئة حمضقلوية (حامضية-قلوية) شديدة الاستقرار، فمادة الأسبرين المنظمة لسيولة الدم هي مادة أسبرين عُدِّلت كي لا تصبح شديدة الحامضية فتهيج المعدة. وتُمتزج الكثير من الشامبوهات والصابون على نحو خاص، من ثم لا تختلف حموضتها كثيرًا عن حموضة البشرة أو الشعر. وإذا كان هناك اختلاف في خاصية الحموضة فإنها ستسبب تفاعلًا حمضقاعديًّا (حامضي-قاعدي)

عند استخدامها، وقد يسبب التفاعل الحمضقاعدي تلفًا للخلايا الحساسة للجلد أو للعين، مما يجعلك حريصًا على استخدام القفاز ونظارة واقية للعين عند إجراء هذه التجارب.

وقد يُعلن عن المنتجات المتوازنة الحامضية أو القلوية تحت اسم «متعادلة pH»، لكن ماذا تعنى (pH)؟ يمكنك أن تستدل على ذلك بالمرور مرة أخرى بعبوة اختبار قلوية حمام السباحة. يُذكر دليل الفينول الأحمر تحت اسم «دليل pH» أيضًا، فتدل pH على مقياس مدى حامضية المحلول أو قاعديته، فهي مقياس كمية الحامضية في المحلول.

ولأن ثمة الكثير من أزواج المواد التي تقوم إحداهما بتحسين الأخرى أو إبطال مفعولها، فثمة الكثير من المواد التي يمكن تصنيفها على أنها أحماض وقواعد. لكن سينصب تركيزنا على أكثر المجموعات شيوعًا وهي المواد التي تنتج أيونات الهيدرونيوم والهيدروكسيد المتعددة الذرات وهما أساس الحامضية والقاعدية في الماء، وكلمة متعدد تعنى أنه يحوي أكثر من واحد؛ فالأيونات متعددة الذرات هي أيونات تتألف من أكثر من ذرة، ينشأ أيون الهيدرونيوم من اتحاد أيون هيدروجين من الحامض مع الماء، ويكون للأيون الناتج متعدد الذرات شحنة موجبة: H_3O^+، ويتكون أيون الهيدروكسيد عندما تنتزع المادة القلوية ذرة هيدروجين من الماء، ويكون للأيون الناتج شحنة سالبة OH^-. ويقيس مقياس (pH) عدد أيونات الهيدرونيوم الموجودة في عينة من المحلول؛ فالمحاليل الحامضية تحوي عددًا أكبر من أيونات الهيدرونيوم والمحاليل القلوية تحوي عددًا أقل. لاحظ إنه إذا كان من الممكن أن يتحد أيون هيدروكسيد مع أيون هيدرونيوم، فإن أيون الهيدروجين الزائد الموجود في أيون الهيدرونيوم يمكن أن يتحد مع أيون الهيدروكسيد، ومن ثم يمكن أن تلغي الشحنة الموجبة الشحنة السالبة، ويكون الناتج جزيئين من الماء، فالحامض والقاعدة يعادل أحدهما الآخر.

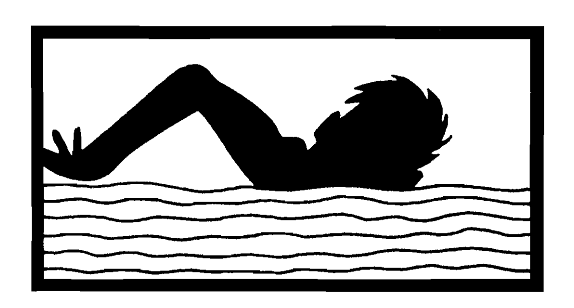
$$H_3O^+ + OH^- \longrightarrow H_2O + H_2O$$

أو برموز أكثر اختصارا

$$H_3O^+ + OH^- \longrightarrow 2H_2O$$

يتدرج مقياس (pH) من ٠ إلى ١٤ فعندما تساوي pH ٧ تكون متعادلة، ولا يعتبر مقياس (pH) مقياسًا طوليًا مثل المسطرة أو الترمومتر، لكنه نوع من أنواع المقياس اللوغاريتمي مثل مقياس ديسيبل، فهو يماثل موقف جودزيلا مقابل الفأر الخارق الذي تعرضنا له من قبل عند عرض الانتشار النسبي للعناصر. وحتى نتمكن من أن نقيس المحاليل الحامضية والقاعدية في نفس الرسم البياني، علينا أن ننتقي مقياسًا غير طولي. ووفقا لمقياس (pH) يعتبرالمحلول الذي يسجل ٣ تزيد قلويته ١٠ أضعاف المحلول الذي يسجل ٢، والمحلول الذي يسجل ٤ تزيد قلويته ١٠٠ مرة عن المحلول الذي يسجل ٢. ولنقولها بشكل أكثر بساطة، كلما ازداد مقياس (pH) زادت قلوية المحلول وقلت حامضيته.

لكن لماذا يوجد دليل (pH) في عبوة اختبار ماء حمام السباحة؟ لماذا يجدر بنا أن نعرف مدى حامضية أو قلوية ماء حمام السباحة؟ دعونا نخوض أكثر في هذا الموضوع.



على سبيل المثال: (pH) ماء حمام السباحة

تعتبر كيمياء حمام السباحة معقدة إلى حد ما وسوف نخوض في تفاصيل أكثر ونحن نتقدم في الموضوع، لكن قبل أن نتعمق في نهاية الموضوع، سندرس هنا مقياس (pH) ماء حمام السباحة وكيفية تأثيره على كيمياء حمام السباحة.

وتُعزى أحد أسباب أهمية ضبط (pH) ماء حمام السباحة في المحلول إلى أن الناس بالطبع لا يرغبون في أن يسبحوا في محاليل حامضية مثل الخل أو قلوية مثل النشادر، وسبب آخر هو أن حمامات السباحة ستكون بركًا كبيرة راكدة بدون كل هذه المضخات والمرشحات، فبدون هذه الأشياء

ستكون معقلًا للطحالب والبكتريا والبعوض. ولمكافحة هذا التكاثر الطبيعي غالبًا يُضاف الكلور إلى الماء في شكل هيبوكلوريت الصوديوم، وهو نفس المادة المستخدمة التي تمثل المكون النشط في مواد التبييض المنزلية، ويعتبر هيبوكلوريت الصوديوم قلويًّا ضعيفًا والكربونات كذلك. إلا أن حل مشكلة التكاثر الطبيعي لا يكون سهلًا مثل إلقاء القليل من مواد التبييض، فيجب أن تظل نسبة الكلور مرتفعة حتى تمنع نمو البكتريا بدون أن تهيج عين الفرد الذي يسبح في الحمام وأنفه، ويجب أن تظل نسبة الكلور ثابتة إلى حد ما في أثناء التعرض لأشعة الشمس، ولاختلاف درجات الحرارة وأسطح المعادن والبلاستيك والسيراميك.

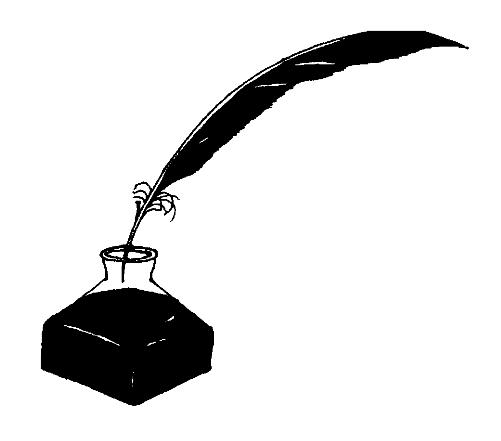
ويُستخلص أفضل تأثير لمكافحة البكتريا من المادة المستخدمة في مواد التبييض عندما يكون ماء حمام السباحة حامضيًّا، لكن ليس جيدًا أن يسبح الفرد في ماء حامضي، كما أن المحلول الحامضي يمكن أن يعمل على تآكل اللوازم المعدنية المصنوع منها مواسير المياه والمرشحات والمضخات، وبالمثل يمكن أن يكون محلول مياه حمام السباحة المحتوي على نسبة زائدة من القلوية مادة آكلة أيضًا؛ من ثم ينبغي تحقيق التوازن، فأي فرد امتلك حمام سباحة أو كان لديه تجربة مع صيانة حمام السباحة يعي أهمية القيام بهذا العمل يوميًّا في أثناء الأوقات التي يتزايد فيها استخدام حمام السباحة، بل حتى إنه ينبغي أن يكون هذا العمل كل ساعة إذا لم تُتخذ الخطوات لتنظيم محلول حمام السباحة. يحدث تفاعل التنظيم في حمامات السباحة عن طريق وجود الكميات الكافية من كل من مادة التبييض والحامض، ويُشار إلى «الكميات الكافية» في كتيبات صيانة حمامات السباحة بـ«إجمالي القلوية» وهي الكميات التي يجب قياسها وتنظيمها جنبًا إلى جنب مع (pH) ومع نسبة الكلور في الحمام، ويمكن تعديل نسبة الحامضية في الحمام بإضافة حامض حمام السباحة، كما يمكن تعديل نسبة القلوية في الحمام بإضافة المادة القلوية الموصوفة في الكتيب، لكن إذا أُضيف الكثير جدًّا من المادة القلوية، تبزغ مشكلة أخرى ألا وهي القشرة.

والقشرة هي قشرة صلبة صخرية يمكن أن تتكون في داخل الأنابيب والأوعية التي تستخدم مع الماء العسر، وقبل توافر مذيبات المياه المنزلية بصورة عامة، كانت القشرة خبرة عامة معروفة لجميع الناس. تتكون القشرة غير

القابلة للذوبان من أيونات الكالسيوم عند توافر أيون الكربونات. وتُبرز هذه الحقيقة مرة أخرى تعدد استعمالات الكربونات. ولقد رأينا أن ثاني أكسيد الكربون يكّون الكربونات ومن ثم حامض الكربونيك في الماء، واستخدمنا بيكربونات الصوديوم (بيكربونات الصودا) كقاعدة، وأخيرًا أشرنا إلى أن البيكربونات يمكنها أن تكون مواد صلبة غير قابلة للذوبان إلى حد ما، وهذه المواهب المتعددة للبيكربونات تتيح لبيكربونات الصودا أن تستخدم بفاعلية في أغراض متعددة وليس الطهي فقط، ويمكن لبيكربونات الصودا أن تكون مزيلًا جيدًا للرائحة لأنه في إمكانها أن تتفاعل مع كل من المكونات الحامضية والقاعدية ذوي الرائحة الكريهة، وتكون مادة غير متطايرة، ومن ثم تكوِّن مركبات كثيرة بدون رائحة ثمة الكثير من الكيمياء في صندوق صغير!

ويوجد بعض الكالسيوم والمعادن الأخرى في أي مياه تتخلل الأرض؛ لذا إذا تُركت مياه حمام السباحة بنسب كبيرة من المادة القلوية، فإنها ستكون عكرة أكثر فأكثر، وفي أفضل حالاتها ستحوي جزيئات عالقة من الأملاح غير القابلة للذوبان أما في أسوأ حالاتها فستكوّن المزيد من القشرة. ويسمى ظهور المادة الصلبة في المحلول السائل «بالترسيب» تمامًا مثلما تسمى الأمطار بالترسيب بسبب ميل المواد الصلبة لأن تبزغ من المحلول تمامًا كما تبزغ الأمطار من السماء.

وسنرى في الفصل القادم بعض المحاليل الأخرى التي تتكون من المواد الصلبة، بالإضافة إلى بعض الأسباب والتعليلات والاستخدامات المفيدة لهذه التفاعلات القشرية عالقة أو مترسبة الشكل.



تجربة ٥: النقطة الزرقاء والحبر الأسود

«لقد أمعن دكتور أركي النظر فيها، كما لو كانت كأسًا مليئًا بالتفاعلات الكيميائية.»

الكاتب ويلا كاثر في روايته «The Song of the Lark» ١٩١٥

النقطة الزرقاء

ارتد نظارة الأمان الواقية ثم أضف ملعقة طعام (١٥ مليلتر) من بيكربونات الصودا إلى نصف كوب (١٢٠ مليلترًا) ماء، اترك المادة غير المذابة لتستقر في قاع الكوب (يستغرق هذا الأمر نحو دقيقة واحدة). اسكب بحذر السائل الشفاف في كوب آخر تاركًا المادة الصلبة. اسكب ملعقة طعام (١٥ مليلترًا) من محلول كبريتات النحاس المذكور في «قائمة المشتريات والمحاليل» إلى محلول بيكربونات الصودا المصفى، يتكون في الحال رقائق زرقاء جميلة تترسب في المحلول، وينبغي أن ترى بعض الفقاعات ويتلون السائل العالق فوق النقطة الزرقاء المترسبة باللون الأزرق الفاتح. وتنتج الفقاعات عن تفاعل الحامض الزائد في محلول النحاس مع أيون البيكربونات.

ويرجع حدوث تفاعل النقطة الزرقاء إلى أن الماء المُصفى من بيكربونات الصودا يحوي صوديوم وبيكربونات مذابين؛ فكمية صغيرة من البيكربونات تفقد أيون هيدروجين وتعطيه إلى الماء وتصبح أيون كربونات، وما إن يقابل أيون النحاس أيون الكربونات يحدث الحب من أول نظرة ويتحد هذان الأيونان ويتشبثان معًا بشدة، في حقيقة الأمر يتشبث أحدهما بالآخر فيكونان مادة صلبة وينعزلان عن المحلول؛ فهما يترسبان.

الحبر الأسود

ارتد نظارة الأمان الواقية، أضف ملعقة شاي (٥ مليلتر) من فوق أكسيد الهيدروجين إلى ربع كوب (٦٠ مليلترًا) من محلول خلات الحديد (انظر قائمة المشتريات والمحاليل). ينبغي أن يتغير لون المحلول إلى بنى محمر مبهج نظرًا لتحول أيون الحديدوز إلى أيون حديديك. أضف برفق نصف كوب (١٢٠ مليلترًا) من الشاي البني البارد المختمر. ينبغي أن تحصل على راسب أسود طري يترسب في نهاية المطاف في القاع. اسْتُخْدِمَت هذه المادة فيما مضى كحبر أسود، وقد استخدم هذا التفاعل الترسيبي لإنتاجه.



الفصل الخامس

شركاء الكيمياء

من يقوم بماذا لمصلحة من

«ما أعنف أثر هذا الفعل الشنيع عليه! لقد اندفع عبر غياهب عقله وبددها، لقد سلط الضوء على أحد جوانبه وألقى بالغمام على الآخر، لقد تفاعل مع روحه ... كما تتفاعل عوامل كيميائية معينة مع أحد المخاليط المعكرة مرسبًا أحد العناصر ومنتجًا محلولًا صافيًا من الآخر.»

فيكتور هوجو «البؤساء» ١٨٦٠

لا يعني المحلول «الشفاف» للكيميائي ذلك المحلول الذي لا لون له، لكنه يعنى المحلول الذي لا يحوي مواد صلبة عالقة به، فالتفاعل الترسيبي هو التفاعل الذي يختلط فيه محلولان شفافان مكونين مادة صلبة في المحلول. تُرى لماذا يقرر محلولان شفافان أن يكونا مادة صلبة؟ تأمل معي الموقف الاجتماعي التشبيهي الآتي: انضم إلى حفل اثنان من المدعوين معًا لأنه من الجيد أن يشترك الأفراد في المواصلات ما دام الطريق واحدًا، إلا أنهما ينفصلان في أثناء

السهرة ويتواصل كل منهما مع أناس آخرين، وإذا وجد كل واحد منهما في الغرفة التي تعج بالناس، شخصًا ما وأقام معه صلة وثيقة خاصة فقد يترك الحفل مع ذلك الشخص وقد يرتبطا معًا بكل توفيق. وكذلك في الكأس التي تعج بالأيونات، إذا وجد أيون أيونًا آخر وكون معه رابطة قوية سينتج عن ذلك مادة صلبة، وعندما يرتبط أيونان ليكونان مادة صلبة، هذه المادة الصلبة تُسمى «ملحًا».

وللأسف قد يتطور هذا التشبيه الاجتماعي! حتى الأنواع الكيميائية المترابطة يمكن إغواؤها لتغير شريكها إلى حين: ارتد نظارتك الواقية مرة أخرى دقيقة وأذب ملعقة شاي (٥ مليلتر) من حجر الشبة في نصف كوب (١٢٠ مليلترًا) ماء ثم أضف أقل من ربع ملعقة (١ مليلتر) من النشادر وقلبها. تشاهد راسبًا أبيض غليظ القوام. أضف أربع قطرات من المحلول المخفض لقلوية ماء حوض الأسماك ثم قلب جيدًا. استمر في إضافة قطرات المحلول إلى أن يذوب الراسب الأبيض ويصبح محلولًا شفافًا مرة أخرى. تعتبر النشادر مادة قاعدية والمحلول المخفض للقلوية حامضًا (تذكر أنه كلما انخفضت (pH) زادت حامضية المحلول). وسواء تكوَّن محلول أم لا فإن هذا يتوقف على محيط الملح.

ويمكن أن يتطور التشبيه الاجتماعي مرة أخرى. ويعتبر الانحلال عكس الترسب، وفي حالة الغياب التام للماء تعتبر كل وحدات الملح صلبة، إلا أن الماء من الممكن أن يكون مدمرًا للأسرة؛ فيمكن لجزيئات الماء أن تندس بين الأيونات. وملح الطعام، كلوريد الصوديوم، صلب بشكل كاف في عبوته قبل استخدامه في الطعام، لكن عندما يكون مبللًا تشق جزيئات الماء طريقها بين أيونات الكلوريد وأيونات الصوديوم وتفصلهما عن بعضهما. لماذا إذن لا يندس الماء بنفسه بين أيونات الكربونات وأيونات النحاس في كربونات النحاس غير المذابة في التجربة السابقة؟ الأمر يقتصر على مجرد اعتبارها صفقة: بمعنى أنه إذا كان الانفصال أكثر كلفة من الفوائد المحتملة، فيظل الاتحاد قائمًا، إذا لم يكن كذلك، فلنر ماذا سيحدث.

لفهم العوامل المتضمنة في تحليل الكلفة والفائدة في ذوبان الملح، نحتاج أن نسترجع مرة أخرى فكرة قدمناها من قبل: لقد ذكرنا أن الذرات تميل لأن تكتسب أو تفقد إلكترونات، وإذا قامت بهذا الصنيع، اقتربت من الحالة المثلى

السالبية الكهربائية →

↑ السالبية الكهربائية

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Act	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	•	•	•						

شكل ١-٥-١: الجدول الدوري موضحًا اتجاهات السالبية الكهربائية، فتميل الإلكترونات لأن تصبح أكثر سالبية كهربائية كلما اتجهنا نحو اليمين وإلى قمة الجدول. ويعتبر الفلور أكثر العناصر سالبية كهربائية. ولا تدخل العناصر النبيلة ضمن نطاق السالبية الكهربائية لأنها لا تدخل عادة في تفاعلات كيميائية.

لطبقات مشبعة، كما ذكرنا أيضًا أنه عندما تقوم اللافلزات بعملية الاتحاد، فإنها تميل لأن تشارك بالإلكترونات على غير المعتاد لتشبع حاجاتها. وكما اتضح أن بعض العناصر لديها القدرة على جذب الإلكترونات بطريقة أقوى من غيرها، ويطلق على القدرة على جذب الإلكترونات «السالبية الكهربائية» وتعتمد السالبية الكهربائية على موقع العناصر في الجدول الدوري.

ومن بين جميع العناصر في الجدول الدوري، يعتبر عنصر الفلور أكثر العناصر سالبية كهربائية كما هو موضح في الشكل رقم ١-٥-١ مما يرجح أن الفلور هو العنصر الذي يأخذ نصيب الأسد من بين بقية العناصر. وتتكالب في مركبات الفلور الإلكترونات حول الفلور أكثر من أي عنصر آخر. وفي الجدول الدوري كلما كان العنصر أكثر قربًا من الفلور زادت سالبيته الكهربائية؛ لأن السالبية الكهربائية هي قياس مدى جاذبية العناصر للإلكترونات عندما تكون في اتحاد مع عنصر آخر، ولا ينطبق هذا مع العناصر النبيلة بدءا من الهليوم He وحتى الرادون Rn، فهذه العائلة لا تكون مركبات تحت الظروف العادية.

أليس هذا جيدًا؟ فالجدول الدوري لا يخبرنا عن عدد البروتونات في النواة وعدد الإلكترونات في الذرة المتعادلة للعنصر وبعض الشيء عن تفاعلية/نشاط العنصر من خلال العائلة التي ينتمي إليها فحسب، بل يمكن أن يعمل الجدول الدوري أيضًا كوسيلة للتنبؤ بالسالبية الكهربائية النسبية، ويمكننا الحصول

على تفسير لهذه المطابقة عن طريق فهم التركيب الذري: فلا تحوز العناصر الواقعة كلما اتجهنا نحو قمة الجدول الكثير من الطبقات تامة الامتلاء، فيمكن للإلكترون الجديد الشعور بالمزيد من الانجذاب نحو النوى الموجبة الشحنة دون وجود إلكترونات أخرى تعوق طريقه. يستمتع الفلور بحاله كأكثر العناصر سالبية كهربائية في الجدول الدوري ومرجع ذلك سببان على الأقل؛ الأول: أن الفلور لديه طبقة واحدة مشبعة، وثانيا: أنه هو العنصر الوحيد — دون كل عناصر الصف الثاني غير المشبعة — الذي يتمتع بأكبر شحنة نووية؛ فهو يحوي تسعة بروتونات. والعنصر الوحيد في الصف الثاني الذي له شحنة نووية أكبر هو النيون وهو يحوي كل الإلكترونات التي يحتاجها. ماذا عن الهيدروجين إذن؟ لا يمتلك الهيدروجين طبقة مشبعة، وبإضافة إلكترون واحد للهيدروجين سيصبح معرضًا تمامًا للنويات المشحونة بشحنات موجبة. لماذا لا يتمتع الهيدروجين بسالبية إلكترونية عالية؟ لأن الأمر يتوقف على الحجم حتى في المستوى الذري.

وعادة تميل الذرات إلى أن تكتسب حجمًا أكبر وأنت تتحرك إلى أسفل في الجدول الدوري لأن العناصر لديها الكثير من الإلكترونات وهذه الإلكترونات تشبع الطبقات، ولا يتمتع الهيدروجين بنفس القدر من السالبية الكهربائية مثل الفلور لأنه لم يكتسب أية طبقة مشبعة مثل الفلور إلى جانب أنه غاية في الصغر على أن يوفر بارتياح شحنة سالبة كبيرة. ويشبه الفرق بين أيون الفلور الذي يحمل شحنة سالبة وأيون الهيدروجين الذي يحمل شحنة سالبة الفرق بين فرد يحمل حقيبة بها عشرون رطلًا من طعام الكلب أو يحمل قنبلة وزنها عشرون رطلًا؛ فطعام الكلب يسهل حمله لأن الوزن موزع على منطقة أكبر، أما القنبلة فيصعب حملها لأن الوزن مركز في نقطة واحدة. بالمثل عندما تحمل ذرة الهيدروجين شحنة سالبة، تتجمع كل هذه الشحنة في حجم غاية في الصغر، وعندما تتداخل كافة العناصر المتشابكة، يتمتع الهيدروجين بسالبية كهربائية مشابهة لتلك التي للفسفور كما هو موضح في الشكل ١-٥-٢.

إذن ما هي نتيجة كل هذه الانجذابات ومقايضات الإلكترونات بين العناصر في المركب؟ النتيجة هي شيء يُطلق عليه «الاستقطاب الجزيئي».

ويعتبر مفهوم الاستقطاب مفهومًا شائعًا، فالبطاريات لها أقطاب موجبة وأخرى سالبة، وللمغناطيس قطب شمالي وقطب جنوبي، وعندما تفضل

السالبية الكهربائية →

السالبية الكهربائية ↑

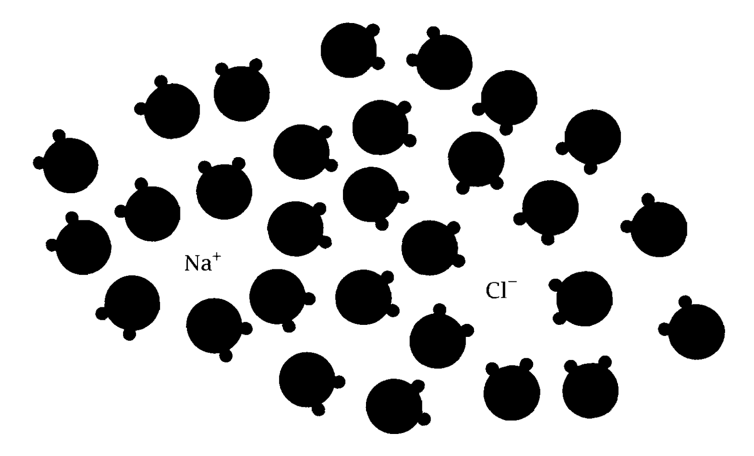
																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P H	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Act	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	•	•	•						

الشكل ١-٥-٢: أن للهيدروجين سالبية كهربائية مشابهة لتلك التي للفسفور.

الإلكترونات أن تقترن بأحد أطراف الجزيء حيث توجد العناصر ذات السالبية الإلكترونية الأكبر، يكون للجزيء قطب موجب وقطب سالب ومن ثم فهو له قطبية. ويطلق على الجزيء الذي له قطب موجب آخر وقطب سالب آخر «ثنائي الأقطاب» لأن له «قطبين».

تتصرف الجزيئات القطبية إلى حد ما مثلما يتصرف القضيب المغناطيسي، فالطرف الموجب لجزيء أحادي الأقطاب يتحد مع الطرف السالب لجزيء آخر، مثلما ينجذب القطب الشمالي لقضيب مغناطيسي مع القطب الجنوبي لقضيب آخر. فالماء (H_2O) الذي يأخذ شكل حرف **V** وبه يكون الأوكسجين في المنتصف وذرتا الهيدروجين عند طرفي حرف **V** هو جزيء قطبي. ويعتبر الأوكسجين أكثر سالبية كهربائية من الهيدروجين فتنجذب الإلكترونات نحو طرف الأوكسجين وبعيدًا عن الهيدروجين، وتنجذب أطراف الأوكسجين في عدة جزيئات ماء إلى أيون مشحونة بشحنة موجبة مكونة قفصًا حوله وحامية إياه بمعزل عن شريكه المشحون بشحنة سالبة. بالمثل تصطف أطراف الهيدروجين المشحونة بشحنة موجبة في عدة جزيئات ماء مع الأيونات المشحونة بشحنات سالبة مكونة حولها قفصًا مماثلًا. وهذا الوضع ممثل في شكل ١-٥-٣.

تميل جزيئات الماء إلى أن تبني أقفاصًا حول الأيونات لأن هذا يمثل موقفًا أكثر استرخاء لها. ومثلما تتطلب بعض الطاقة لتعزل قوى المغناطيس التي ينجذب بعضها لبعض، فإننا نحتاج إلى الطاقة لنفصل الجزيئات التي ينجذب



شكل ١-٥-٣: جزيئات الماء التي تعزل أيون الصوديوم وأيون الكلور عن طريق تكوين أقفاص المذيب حول الأيونات.

بعضها لبعض أو إلى أيون واحد. وإتاحة الفرصة لجزيئات الماء أن تكون أقفاصًا حول الأيونات، يسمح لها بالاسترخاء وإطلاق طاقة.

إلا أن هناك حاجة إلى الطاقة لتفتيت الملح أيضًا، ومن ثم تحدث المقايضة. وإذا كان تكلفة تفتيت الملح أكبر من الفوائد المحققة من خلال السماح لجزيئات الماء بالاسترخاء في أقفاص، عندئذ يترسب الملح في المحلول أو لا يذوب أصلا. وإذا كانت تكلفة تفتيت الملح أقل من الفوائد المحققة عن طريق السماح لجزيئات الماء بالاسترخاء في شكل أقفاص، فإن الملح يبقى في المحلول أو يذوب.

وبزيارة أخرى للجدول الدوري يمكننا أن نخلص إلى أن الفلزات التي تقع في العمود الأول (الليثيوم Li، والصوديوم Na، والبوتاسيوم K، وهكذا) تميل إلى أن تكّون أيونات مشحونة بشحنة موجبة واحدة لأن فقد إلكترون واحد سيمنحها طبقة خارجية مشبعة تمامًا. وغالبًا ما تكون الأملاح المشتقة من تلك الأيونات الموجبة قابلة للذوبان حيث إن جذب شحنة واحدة موجبة يعتبر أمرًا ضعيفًا نسبيًّا. قارن قضيب المغناطيس المقترح في «قائمة المشتريات والمحاليل» بالقضيب المغناطيسي الذي يوجد في الثلاجات. تمتلك الأيونات الموجبة المتكونة من عناصر العمود الأول جاذبية ضعيفة نسبيًّا للأيونات السالبة التي تشبه القضيب المغناطيسي في الثلاجة أكثر من القضيب المغناطيسي العادي.

من ناحية أخرى، تميل عناصر العمود الثاني إلى فقد إلكترونين عندما تكّون أيونات، ومن ثم تكون لديها شحنة موجبة ثنائية. ويكون لهذه الأيونات قدرة أكبر على جذب الأيونات المشحونة بشحنة سالبة، وهي تميل لأن تكّون مركبات تزيد قابليتها لعدم الذوبان عن نظيراتها في العمود الأول، لكن فيما وراء هذه الملاحظات الأساسية نجد أن العوامل المحددة لقابلية الأملاح لتكوين اتحادات دائمة، تكون معقدة تمامًا مثل الأقران من البشر، إذ يلعب الحجم والشكل والمرونة دورًا أيضًا. وحتى عندما تعنون هذه الاعتبارات لملح ما على أنه قابل أو غير قابل للذوبان، نجد أن المقدار الفعلي الذي يذوب أو لا يذوب يتوقف على طبيعة المذيب، وعلى مقدار الملح في المحلول، ودرجة حرارة المحلول وpH للمحلول.

وثمة تجربة مقنعة على مدى أهمية طبيعة المحلول وهي أن تحاول أن تذيب ملء ملعقة شاي (٥ مليلتر) من ملح الطعام قي كوب (٢٤٠ مليلتر) ماء، وحاول أن تذيب نفس الكمية من الملح في كوب من زيت الصلطة أو الزيت المعدني؛ يذوب ملح الطعام في الماء بسهولة، لكنه يترسب في الزيت كما هو دون أن يذوب. حاول أن تُقلب ملح الطعام في كل منهما قبل الحكم النهائي فالتقليب يساعد الأملاح على الذوبان لأن عملية الذوبان تبدأ من سطح المادة الصلبة ويساعد التقليب على تعريض المزيد من الأسطح للمحلول. لكن مهما بذلت في عملية التقليب فلن تستطيع أن تُجبر كل ملح الطعام على الذوبان في محلول الزيت.

ويمكن إثبات مدى توقف الذوبان على الكمية باستخدام بيكربونات الصودا والماء. فإذا أُضيف مقدار ضئيل من بيكربونات الصودا إلى كوب زجاجي (ليس من البلاستيك) شفاف يسع نحو كوبين من الماء، ينبغي أن يذوب هذا المقدار الضئيل. في حقيقة الأمر، ينبغي أن يذوب ما يقرب من عشرة أو خمسة عشر مقدار ضئيل كامل من بيكربونات الصودا، لكن عند نقطة محددة تبدأ المقادير المضافة في تحويل المحلول غائمًا، وفي نهاية الأمر تترسب المقادير المضافة في القاع حتى مع التقليب. ولإثبات تأثير درجة الحرارة على عملية الذوبان نضع المحلول في الميكروويف لمدة ثلاثين ثانية، ما يكفي فقط لجعل المحلول يصل إلى درجة حرارة شربة ساخنة لكن يمكن شربها. ينبغي

أن يكون المحلول الدافئ الناتج صافيًا مرة أخرى، وينبغي أن تذوب كل بيكربونات الصودا الموجودة في قاع الزجاجة عند تقليبها.

ومن الممكن مشاهدة أثر المواد الأخرى على المحلول عن طريق الطباشير، قارن الطباشير الذي هو كربونات الكالسيوم مع بيكربونات الصودا، التي هي المركب المتكون من الصوديوم والهيدروجين والكربونات. فعندما نضيف ملعقة شاي (٥ ملليتر) من بيكربونات الصودا إلى كوب (٢٤٠ مليلترًا) من الماء الدافئ فإنها تذوب، وبوضع نفس الكمية من مسحوق الطباشير فإنها ستغوص إلى العمق مثل الصخرة، في حين أن الطباشير يذوب عندما يوضع في الخل، ذلك لأن الخل حامض والطباشير يتفاعل مع الحامض، وعند تعريف الطباشير نجد أنه قاعدة، لكنه القاعدة التي لا تذوب في المحاليل المتعادلة مثل المياه غير المرشحة. وفي الخل أي في الحامض تتعادل قاعدة الكربونات ويذهب الكالسيوم إلى المحلول.

لذلك يبدو أنه مع كل هذه التغيرات — طبيعة الملح، وطبيعة المحلول، وكمية الملح، ودرجة حرارة المحلول — أن كلًّا من عمليتي الترسيب والذوبان معقدتان إلى حد ما، فهما لا تحدثان على الفور. ومع ذلك فسنخوض في هذه المفاهيم مرة أخرى في مواقف مختلفة عبر مسيرتنا لأن الترسيب والذوبان يدخلان في الكثير من التفاعلات الكيميائية. فعلى سبيل المثال يتكون الصدف عندما ينبعث الكالسيوم من مخلوق بحري فيختلط مع الكربونات الموجودة في الماء مكونًا كربونات الكالسيوم. وتعلل أيونات الصدف المتجمعة في قاع المحيط تكوين الطباشير أو الحجر الجيري الذي يجد طريقه إلى سبوراتنا وأرصفة شوارعنا.

وتعتبر عملية الترسيب نافعة في عملية معالجة النفايات الخطيرة، فإذا كان من الممكن ترسيب المعادن الضارة في المحاليل، فيمكن فصلها من المحاليل باعتبارها مواد صلبة تشغل حيزًا من الفراغ أقل من الفضلات السائلة ومن ثم يسهل نقلها وتخزينها. ثمة نوع آخر من الترسيب لكنه مزعج، وهو تفاعلات الترسيب التي تحدث في مكان غير متوقع وهو جسم الإنسان؛ فالنقرس يحدث بسبب ترسيبات حامض البوليك المتجمعة في المفاصل. وحصوات المرارة والكلى ما هي إلا رواسب، إلا أن هذه الرواسب المرَضية ليست بالأمر الطبيعي. فجسم الإنسان خليط قوامه سائل إلى حد ما حيث إن جوهر الحياة هو القدرة على

التغير استجابة للبيئة المحيطة، من ثم يجب أن تكون معظم مواد الجسم قادرة على الحركة وجاهزة لذلك، ويمكن اكتمال هذه القدرة على الحركة عن طريق الماء، نظرًا لقدرة الماء المرتفعة جدًّا على حفظ المواد في المحلول. يستطيع جسم الإنسان أن يتحمل فترة طويلة بدون غذاء أكثر من تحمله لغياب الماء، وبدون الماء يصبح كل من الجسم والمخ في حالة كسل وتراخٍ. وتتأثر الكثير من الحالات وكذلك الأمزجة بشكل فعلي إذا لم يعدل أمر الماء بزيادة المقدار اليومي من الماء. في كثير من الأحيان عندما يتعلق الأمر بالصحة يكون الماء هو الحل.

ويعتبر زبد الصابون نوعًا آخر من الترسيب الشائع. ويطفو زبد الصابون عادة على الماء بدلًا من أن يترسب، من ثم لا ينظر إليه عادة على أنه راسب لكن هذا مسألة دلالات لفظية. يتكون زبد الصابون في البانيو عندما يختلط الصابون بالماء العسر، وهو الماء الذي يحوي أيونات كالسيوم وماغنسيوم. يُطلق على الماء الذي يحوي أيونات كالسيوم وماغنسيوم «عسر» لأن هذه الأيونات تميل إلى أن تكون رواسب (التي هي صخور صغيرة) غير قابلة للذوبان في الماء.



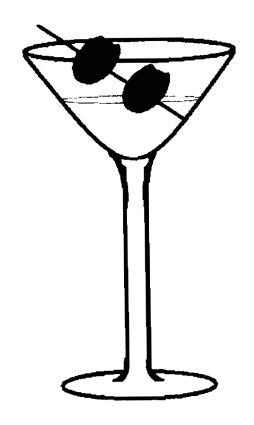
على سبيل المثال: الماء العسر والماء اليسر

الشيء الجيد عن الماء هو أن الكثير جدًّا من الأشياء تذوب فيه، والشيء السيئ عن الماء هو أن الكثير جدًّا من الأشياء تذوب فيه. ويعتبر الماء النقي موصلًا ضعيفًا للكهرباء، ولا يعني هذا أن تقف في بانيو مليء بالماء لتغير مصباحًا، لأنه من الصعب جدًّا الحصول على ماء نقي؛ فالماء الذي يحتوي على أملاح مذابة فيه هو موصل جيد للكهرباء. وقدرة الماء على إذابة المواد تُعزى إلى حقيقة أن كل المياه الجوفية تحتوي على أيونات ذائبة بما فيها أملاح الكالسيوم والماغنسيوم. وكما أن وضع قطعة طباشير في الماء يؤكد أن ملح الكالسيوم غير قابل للذوبان تمامًا — وتكوين أملاح الكالسيوم في غلاية الشاي يكون أمرًا مزعجًا والزبد محبطًا — فإن تكوين الرواسب القشرية داخل أنابيب المياه وفي حمامات السباحة يعجل من حدوث مشكلات خطيرة. وفي وقت ما كانت

تُضاف أيونات الفوسفات المشحونة بشحنة سالبة إلى المنظفات، ومن ثم يكوِّن الكالسيوم بشكل تفضيلي الأملاح مع الفوسفات، بدلًا من تكوين الزبد، مما يحرر المنظفات ومن ثم يتثنى لها أداء وظيفتها. لكن الفوسفات مخصبات غاية في الكفاءة، من ثم تسبب تدفقات الفضلات من المغسلات حدوث انسداد في الأنابيب التي تنقل الفضلات المائية بارتفاعات كثيفة بطريقة غير مألوفة، لهذا كان يستدعي الأمر الحد من استخدام الفوسفات، لكن في هذه الأيام، لا يعتبر تكون زبد الصابون مشكلة خطيرة بسبب انتشار المذيبات المائية؛ فمذيبات الماء تقوم بإزالة الكالسيوم والأيونات الأخرى المكونة للرواسب من الماء قبيل جريانها في أنابيب الماء في المنازل.

وتعتبر المبادئ المطبقة في مذيبات المياه هي نفس المبادئ الموجودة في تفاعلات الترسيب، حيث يتدفق الماء عبر مادة كثيفة مشبعة بأيونات الصوديوم تشبه شبكة عملاقة من الأملاح، وتعتبر أملاح الصوديوم قابلة للذوبان في حين لا يكون الكالسيوم في نظيراتها من نفس الأملاح قابل للذوبان. ومن ثم يحل الكالسيوم محل الصوديوم ويُحتجز على المادة الصلبة أو يحبس بداخلها. ويمكن استخدام الماء المشبع حاليًّا بالصوديوم بدلًا من الكالسيوم بدون أي قلق من أنه قد يُرسب الصابون أو يكون رواسب قشرية جافة. في دورة إعادة الإنتاج لمذيبات المياه تُغسل المادة الصلبة بالماء المشبع بالمزيد من ملح الصوديوم حيث يحل الصوديوم في نهاية الأمر محل الكالسيوم في المادة الصلبة، ويكون مذيب الماء جاهزًا للبدء في عملية الإذابة مرة أخرى.

لكن لا يتحتم على المادة أن تكون ملحًا كي تذوب في الماء؛ فالسكر يذوب في الماء أيضًا، وبلا جدال لا يعتبر ملحًا، مما يثير التساؤل: ما الذي يجعل السكر مختلفًا تمامًا عن الملح؟ فكل منهما مركبات بلورات بيضاء تذوب في الماء ويصعب التمييز بينهما إلا بتذوقهما، لكنه يمكنك أن تحيا لفترة قصيرة على ماء به سكر ولا يمكنك أن تعيش على ماء به ملح، ما الفارق؟ يكمن الأمر كله في الرابطة؛ الرابطة الكيميائية!



تجربة ٦:
الرابطة. الرابطة الكيميائية

«لا أحد غير الكيميائي يمكنه أن يخبرنا عن ناتج المواد السائلة أو الصلبة المركبة، لكنه لا يستطيع ذلك دائمًا. ومَن في إمكانه أن يخبرنا عن كيفية تفاعل رجل مع امرأة، أو أي أطفال سينجبان؟ كان هناك رجل يُدعى بنيامين بانتير وزوجته، لقد كان كل منهما جيدًا على حدة، لكنهما أشرار عندما يجتمعا معًا، هو الأوكسجين وهي الهيدروجين، وأبناؤهما نيران مدمرة.»

الشاعرة إميلي ديكنسون في «الأعمال الكاملة» ١٩٢٤

«إنني أخشى ... الفعل الكيميائي الذي سيترسب في نفسي من جرّاء التبجيل الزائف لرمز ما.»

جيمس جويس «Portrait of the Artist as a Young Man» ١٩١٥

خذ زجاجة من البلاستيك الشفاف من تلك المطلوب شراؤها في «قائمة المشتريات والمحاليل». ارتد نظارة الأمان الواقية وصب نحو بوصتين (٥ سم) من الزيت المعدني. أضف نحو بوصتين (٥ سم) من محلول كبريتات النحاس. ضع الغطاء على الزجاجة ثم رجها. ينفصل المحلول إلى طبقتين حيث يظل لون طبقة محلول النحاس أزرق لامعًا ويظل لون طبقة الزيت المعدني شفافًا كما هو. أضف ربع ملعقة شاي (١ مليلتر) من صبغة اليود. ضع الغطاء ورجها. عندما تتوقف عن الرج ينبغي أن تنفصل الطبقتين مرة أخرى، لكن تظهر طبقة الزيت المعدني باللون البنفسجي هذه المرة. تحوي صبغة اليود كل من I^-، وI_2 لكن في معظم الأحيان خليط منهما معًا ويكون لونه بنيًّا. وتؤكسد أيونات النحاس في كبريتات النحاس I^- إلى الشكل الجزيئي I_2، الذي يدمر المركب. ويكون لون الجزيء I_2 بنفسجيًّا ويقبل الذوبان في الزيوت مثل الزيت المعدني.[1]

أضف الآن ملعقة شاي (٥ مليلتر) من النشادر المنزلية، ثم ضع الغطاء ورج. عندما تنفصل الطبقات هذه المرة ينبغي أن تتلون طبقة النحاس بالأزرق الداكن المائل إلى الأرجواني، إذ يكوّن النحاس الآن شراكات قوية مع النشادر ولم يعد ذلك الأمر متاحًا الآن مع اليود. يرجع بعض اليود ليكون مرة أخرى I^- ويُعاد تشكيل المركب ويصبح لون الزيت شفافًا مرة أخرى، قد تحتاج أن تضيف العديد من نسب النشادر لكن في نهاية الأمر يصبح لون الزيت المعدني شفافًا مرة أخرى.

يذوب جزيء I_2 في الزيت المعدني، في حين لا يذوب أيون I^-. يذوب أيون I^- في الماء ولا يذوب في الزيت المعدني. وينجذب الماء وهو جزيء قطبي إلى أيون I^-، فيبني قفصًا حوله ثم يسحب أيون I^- إلى محلول الماء (يُعرف بالمحلول المائي). ولا يكون للجزيء I_2 طرف قطبي حتى يتثنى له أن يجذب جزيئات الماء، من ثم تنجذب جزيئات الماء بعضها إلى بعض أكثر وتقوم بطرد I_2 من المحلول. يقبل الزيت المعدني I_2 لأن الزيت المعدني جزيء غير قطبي وليس لديه أي ميل لبناء أقفاص. ولقد ذكرنا من قبل أن الأملاح تتكون عندما تنجذب الأيونات الموجبة إلى الأيونات السالبة، وأن هذه المواد تكوِّن رابطة، والآن نحتاج أن نضيف أن هذا النوع من الروابط هو بالتحديد رابطة أيونية. ويعتبر هذا التصميم الخاص ضروريًّا لأنه ليست كل المواد أملاحا وليست كل

الروابط الكيميائية روابط أيونية؛ فالترابط الذي يحدث في المواد غير الملحية مثل I_2 يُسمى «الترابط التساهمي». ويستحق الفرق بين أنواع الترابط والمواد الناتجة عن ذلك الترابط أن نخصص له فصلًا مثل الفصل التالي.





الفصل السادس

الرابط الذي يربط

الكيماويات التي تترابط

«إن العلاقات الحميمة في مكان مثل لندن لهي أسطورة شخصية، فهي عميقة عمق الصلة الكيميائية. يمر آلاف من الناس وينعزل أحدهما عن هذه الجموع الغفيرة ليُلصق نفسه بآخر، وهكذا قليلًا قليلًا تتكون الجماعة.»

المؤرخ الأمريكي هنري آدمز في «تعاليم هنري آدمز» ١٩١٨

«نحن نقابل القطبية أو الفعل ورد الفعل في كل جزء من الطبيعة، نقابلها في الظلام والضوء، في الحرارة والبرودة، في المد والجزر، في الذكورة والأنوثة، في شهيق وزفير النباتات والحيوانات، في انقباض وانبساط القلب، وفي موجات السوائل والأصوات، وفي الطرد والجذب المركزي نحو الجاذبية الأرضية، وفي الكهرباء، والجلفانية، وفي الصلة الكيميائية.»

رالف والدو إيمرسون في «مقالات» ١٨٤٠

لقد كان التوضيح الذي استخدمناه لهذه التجربة، الذي استهللنا به هذه المناقشة هو كأس من شراب المارتيني مع زيتونتين. لكن على عكس خلة الأسنان التي تربط الزيتونتين معًا، فإن الرابطة ليست كيانًا ماديًّا. وينبغي أن ندرك أن الرابطة قوة بنفس إدراكنا أن المغناطيسية والجاذبية هما قوة. ومنشأ القوة في الرابطة الكيميائية هو منشأ كهربائي، ولكنها تلك القوة التي يشوبها تعقيدات التجاذب والتنافر، ويوجد فيها الكثير من الإلكترونات والبروتونات والشحنات التي تتحرك بأنماط معقدة. تشبه محاولة تصنيف المواد طبقًا لنوع الرابطة، محاولة طبيب التجميل تصنيف الناس طبقًا لدرجة لون البشرة. بالطبع هناك أناس ذو بشرة سوداء وآخرون ذو بشرة بيضاء، لكن هناك الكثير جدًّا من التنوعات ضمن نطاق بشرة الإنسان. وعلى نفس المنوال يمكننا القول إنه ثمة ثلاث تصنيفات أساسية للرابطة الكيميائية: الأيونية، والتساهمية، والفلزية، لكن هذه جميعها مجرد متغيرات داخل موضوع واحد وهو أن النوى ترتبط معًا عندما يكون هناك انجذاب متبادل، وأن أسس هذا الانجذاب المتبادل هي أسس كهربية. ولدى كل رابطة القليل من خصائص الروابط الأخرى — التساهمية والأيونية والفلزية — لكن بدرجات أكبر أو أقل، ولا يعتبر هذا الغموض مفيدًا بصورة مباشرة، إلا أننا سوف نستمر في هذه الدراسة كما لو كان من الممكن أن نضع كل جزيء بشكل قاطع في فئة أو أخرى ثم نستخدم التصنيف كي ننسب خصائص للمواد المختلفة.

أولًا: نحن نملك أداة رائعة للتنبؤ بالضبط من أن أي نوع أيون لعنصر ما يميل غالبًا للدخول في التفاعل، وهاك أقرب صديق للكيميائي، الجدول الدوري، الذي نعرضه هنا مرة أخرى للمراجعة السهلة.

وكما أشرنا من قبل، يمكن تقسيم الجدول الدوري إلى ثلاثة أجزاء رئيسية: الفلزات واللافلزات وأشباه الفلزات. تقع الفلزات عن يسار السلم المتعرج الذي يبدأ بين البورون B والألمنيوم Al وينتهي بين البولينيوم Po والأستاتين At. تقع اللافلزات عن يمين السلم. وأشباه الفلزات هي تلك العناصر التي تقع مباشرة فوق وأسفل. ولكن مرة أخرى يوجد مدى من الخصائص وليس هناك تمييز قاطع. ولا تأبه الطبيعة لأي مسمى ننتقيه لنلقب سواء الفلزات أو اللافلزات، إلا أن بعض العناصر مثل النحاس Cu (يقع بعد ثلاثة عناصر عن يسار السلم) يقع مباشرة في زمرة الفلزات. وتلك العناصر تحظى بسلوك يشبه

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac†	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	•	•	•						

*Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
†Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

شكل ١-٦-١: الجدول الدوري للعناصر.

بوضوح سلوك الفلزات (فالنحاس الصلب مادة لامعة قابلة للثني وموصل جيد للكهرباء). وتتصرف العناصر الأخرى في زمرة اللافلزات بوضوح مثل اللافلزات: فغازا النيتروجين والأوكسجين هما موصلان ضعيفان جدًّا للكهرباء لدرجة أن تدفق التيار الكهربائي يمكن أن يتوقف بعزل الأسلاك في الهواء، وعليه يعتبر مبدأ تقسيم الجدول الدوري إلى فلزات ولافلزات مبدأ تقسيم نافع.

وتميل عادة اللافلزات التي تقع عن يمين السلم لأن تكوِّن أيونات سالبة عندما تكوِّن أيونات. أما الفلزات التي تقع عن يسار السلم فتميل عادة إلى تكوين أيونات موجبة عند تكوين الأيونات. والشحنات المختلفة تتجاذب؛ فعندما تكون هناك أيونات ذات شحنات مختلفة على مقربة بعضها من بعض، فإنها ينجذب بعضها إلى بعض.

وإذا تكونت رابطة بناء على هذا الانجذاب بين الأيونات، تُسمى الرابطة أيونية. فعلى سبيل المثال تعتبر الرابطة بين الصوديوم والكلور في ملح الطعام، كلوريد الصوديوم، خير مثال على ما يُعتبر رابطة أيونية؛ تنشأ الرابطة الأيونية عن الانجذاب بين الأيونات الموجبة والسالبة، كما هو مُتضمن في الاسم، وفي الرابطة الأيونية يمكن التنبؤ بما سيحدث بشكل دقيق وقابل للتعليل، لدرجة أن الفرد غالبًا ما يرغب في أن تكون جميع الروابط روابط أيونية سهلة، لكن

في ذلك الحين لن يكون لدينا تلك التشكيلة الفعلية التي لا حصر لها من المواد والتي تكون ضرورية لعالمنا، فدائمًا ما يكون التنوع عاملًا شيقًا لكن معقد.

وكما لاحظنا من قبل، تتكون الأيونات لأن الذرات تميل لأن تكتسب أو تفقد إلكترونات إلى أن تحصل على طبقة مشبعة التكافؤ. ولأسباب في الماضي سُميت الطبقات التامة الامتلاء ثمانيات، مع حقيقة أنه ليست كل الطبقات الممتلئة تحوي ثمانية إلكترونات. ونحن نتحدث عن أيونات تتكون عندما تكتسب الذرة أو تفقد إلكترونات لتشبع ثمانيتها، لكن ثمة بعض الطرق التي يمكن أن تملأ الذرة بها ثمانياتها دون أن تهجر أو تسرق إلكترونات، فمن الممكن أن تكتمل الثمانيات عن طريق مشاركة الإلكترونات أيضًا.

تؤدي مشاركة الإلكترون إلى نوعية من الروابط التي عادة تحدث بين لا فلزين (أي عنصرين يقع كل منهما في اليمين الأقصى من الجدول الدوري. ويُطلق على هذا النوع من الروابط «الروابط التساهمية». وكما شاهدنا، إلكترونات التكافؤ هي تلك اللإلكترونات التي تقع في الطبقة الخارجية من الذرة، فعلى سبيل المثال، كل ما يحويه الكربون، الذي يقع في الدورة الرابعة من الصف الثاني، هو ستة إلكترونات (لكونه سادس عنصر مدرجًا في الجدول الدوري)، لكن أربعة فقط من هذه الإلكترونات هي إلكترونات تكافؤ أي إلكترونات الطبقة الخارجية. وتعني تساهمية أنه تشارك الإلكترونات على نحو تعاوني وتتصرف الإلكترونات كأنها إلكترونات تكافؤ العنصرين في الرابطة.

ويعتبر المنطق النظري لمشاركة الإلكترونات هو أن كلًّا من العنصرين في الرابطة التساهمية يملك تقريبًا نفس مقدار الجاذبية للإلكترونات. وما من طريقة لتحديد أي العنصرين سيأخذ الإلكترونات وأيهما سيتخلى عنها، نظرًا لأن العنصرين يقعان في نفس الجانب من الجدول الدوري ويتشابهان في السالبية الكهربية. ويقع الأوكسجين في الجانب الأيمن من الجدول الدوري، وكما ذكرنا من قبل يحوي الهيدروجين سالبية كهربية مشابهة لعناصر الجانب الأيمن من الجدول، من ثم تكون الرابطة بين الأوكسجين والهيدروجين في الماء رابطة تساهمية. وعندما تنتهي إلكترونات تكافؤ كل من الأوكسجين والهيدروجين من تنظيم نفسها حول النوى، يصبح لكل عنصر ثمانية مكتملة. (تذكر أن ثمانية الهيدروجين مشبعة بإلكترونين). وتمتلئ ثمانية كل ذرة

H· ·Ö: ⟶ H :Ö: أو H — O
Ḣ H |
H

شكل ١-٦-٢: الروابط التساهمية المتكونة بين الهيدروجين والأوكسجين عندما يملآن طبقاتهما الخاصة بالإلكترونات المتشاركة.

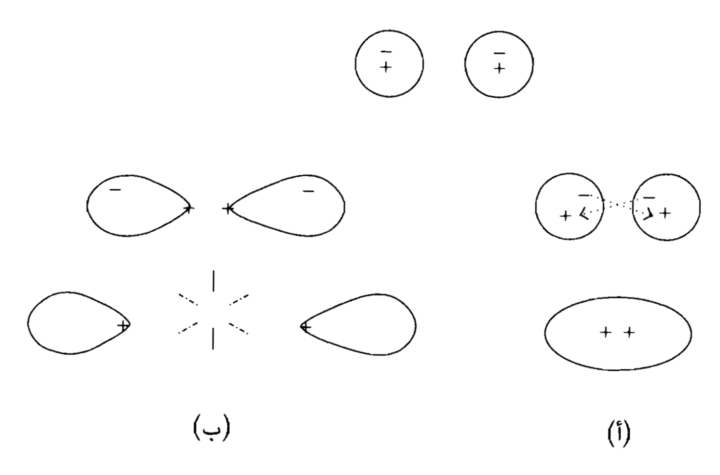
هيدروجين بإلكترونين، أما ثمانية الأوكسجين فتمتلئ بثمانية إلكترونات أربعة منها مُشاركة مع نوى الهيدروجين.

إلا أن ثمة تناقضًا جوهريًّا، فقد ذكرنا أن الشحنات المختلفة تتجاذب والمتشابهة تتنافر، وأن لكافة الإلكترونات شحنة سالبة. إذا كان هذا صحيحًا، فلماذا لا تنفجر إذن مجموعات إلكترونات التكافؤ في وبائل متطايرة من الإلكترونات بدلا من التوطد في روابط كيميائية قوية؟

هذا سؤال جيد جدًّا ونحن مسرورون أنك سألته، وقد اتضح أن هذا السؤال لطالما حير علماء الكيمياء النظريين أيضًا، وقد أطلقوا على الجذب المُلاحظ بين العناصر «الصلة الكيميائية» لإعطائه اسمًا فقط، لكنهم لم يفهموا طبيعة التجاذب، لكن بفهم التركيب الذري وُجِدَ مبررٌ لمثل هذا التجاذب: فيمكن النظر إلى طبيعة التجاذب على أنها إلكترونات سالبة تعمل وسيطًا بين النوى المشحونة بشحنات موجبة.

مع أن اكتمال الصورة المحتملة أمر أكثر تعقيدًا، فيمكننا أن نجد تشبيهًا منطقيًّا في المغناطيس؛ إذا قربنا قضيبي مغناطيس معًا، كان نصفهما معًا سيتنافران. يشبه هذا الموقف إحضار نواتين عاريتين مشحونتين بشحنات موجبة معًا، حيث نجد أنهما لا يرتبطان بسبب التنافر بينهما، لكن بالرجوع إلى المغناطيس نجد أنه إذا وُضع قضيب مغناطيسي ثالث بين المغناطيسين اللذين أحضرناهما أولًا بحيث يكون القطب الجنوبي موضوعًا إلى جانب القطبين الشماليين، عندئذ يجذب المغناطيس الواقع في الوسط بينهما المغناطيسين الآخرين ويبقى الثلاثة معًا. وفي الرابطة تقوم الإلكترونات السالبة الموجودة بين النوى المشحونة بشحنات موجبة بجذب النوى الموجبة وتتصرف كأنها غراء تلصق النوى معًا.

إلا أن التشبيهات لا تعتبر كاملة البتة؛ فالإلكترونات لا تشغل فراغات محددة بين النوى مثل قضيب المغناطيس الثالث، لكنها تنتشر في سحب



شكل ١-٦-٣: نجد أنه عندما تجتمع ذرتان قد يجدان نفسيهما (أ) مع سحابة إلكترونية بين النواتين، (ب) تكون السحابة الإلكترونية خارج مركز النواتين. ثمة انجذاب في الحالة الأولى (أ) بين سحابة إلكترونية لأحد الذرات ونواة الأخرى وقد تتكون الرابطة. أما في الحالة الثانية (ب) نجد أن النواتين المشحونتين بشحنات موجبة مكشوفتين إحداهما للأخرى وتتنافر إحداهما مع الأخرى، ولا تتكون الرابطة.

غائمة تسمى «مدارات الجزيئات» التي تأخذ أشكالًا غالبًا تكون متنوعة في تكويناتها كالتكوينات السماوية التي قارناها بها من قبل. وعندما يكون لأحد هذه المدارات الإلكترونية كثافة إلكترونية كبيرة بين نواتين، يتصرف التكوين كأنه مدار يربط بين النواتين، وإذا أفضت إحدى سحب الإلكترونات هذه إلى كثافة إلكترونية كبيرة خارج النواة، تعمل الإلكترونات على تقليل الترابط بدلًا من توطيده. في هذه الحالة تُدعى سحابة الإلكترون التي هي مدار الإلكترون «مدار غير رابط». ويُصور هذان الموقفان في الشكل رقم ١-٦-٣. ونرى في الجانب الأيسر من الصفحة في شكل ١-٦-٣(أ) أن ذرتين اجتمعا معًا لذلك توجد بعض الكثافة الإلكترونية بين النواتين، حيث إن الإلكترونات انجذبت إلى النواتين المجاورتين وتكونت الرابطة. ونرى عن يمين الصفحة في شكل ١-٦-٣(ب)، أن ذرتين قد اجتمعتا معًا حيث يوجد نقص في الكثافة الإلكترونية بينهما، حيث إن النواتين المشحونتين بشحنات موجبة والمكشوفتين إحداهما للأخرى، تتنافر إحداهما مع الأخرى، ولا تتكون رابطة.

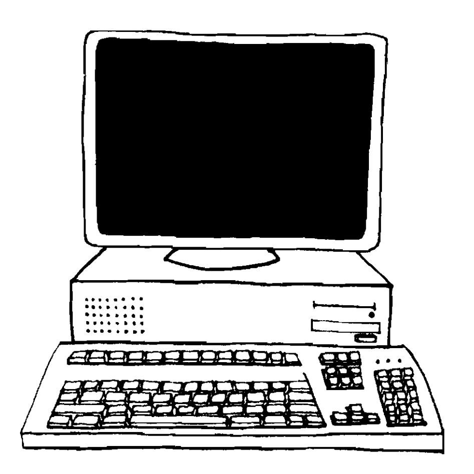
وعادة ما تكون طاقة المدارات غير الرابطة أكبر كثيرًا من طاقة مدارات الترابط، لكن إذا اصطدمت الكمية المضبوطة من الطاقة بمدارات الترابط، ربما في شكل طاقة ضوئية، تُثار الإلكترونات من أحد المدارات إلى آخر. وإذا أثيرت الإلكترونات فانتقلت من أحد مدارات الترابط إلى أحد المدارات غير الرابطة، فقد تنكسر الرابطة. وتُخزن الكثير من المواد مثل بعض الجعة (البيرة) في زجاجات بنية اللون حتى تمنع الضوء من أن يفتت المادة التي بالداخل بنفس هذه الآلية.

وكما ذكرنا من قبل، لا تكون الرابطة دائمًا أيونية أو تساهمية على نحو خالص، فأفضل نماذج الروابط الأيونية تتضمن بعض المشاركات الإلكترونية، والروابط التساهمية لا تشارك الإلكترونات بالتساوي تمامًا. وتعني الاختلافات في السالبية الكهربية بين النوى المترابطة أن الإلكترونات ستنجذب إلى أحد النوى أكثر من الأخرى. لكن يمكن اعتبار الرابطة تساهمية بشكل خالص إذا كانت بين نواتين متطابقتين، كما في غاز الهيدروجين H_2، أو الأوكسجين O_2. وثمة مثال قاطع على المساواة في مشاركة الإلكترونات في الرابطة الفلزية، ففي الفلزات تكون جميع الذرات متطابقة وتشارك الإلكترونات بسهولة حتى إنه يمكن الاعتقاد أن الفلز جزيء واحد كبير.

ويمكن أن يوجد في المواد الصلبة إلكترونات في نظام الترابط بين أزواج النوى تسمى «حزمة التكافؤ»، كما يوجد أيضًا مدارات عملاقة تمتد حول كل النواة تُسمى «حزمة التوصيل»، ويمكن تخيل حزمة التوصيل على أنها مدار إلكتروني هائل، وفي حزمة التكافؤ تظل الإلكترونات مرتبطة بنواتها. أما في حزمة التوصيل فتحظى الإلكترونات بحرية التحرك من نواة إلى أخرى والتنقل من أحد طرفي الفلز إلى الطرف الآخر. ويمكننا تشبيه الأمر بشبكة بنكية. يوجد على المستوى المحلي بنوك داخل المدينة يعمل بها صيارفة محليون يعيشون ويعملون في نفس المكان، وهؤلاء الصيارفة هم إلكترونات حزمة التكافؤ وظيفتهم الحفاظ على أسس البنك معًا. أما المديرون الأعلى فهم إلكترونات حزمة التوصيل، ووظيفتهم تجعلهم يتنقلون من بنك إلى آخر عبر كل الشبكة.

والمواد التي لديها وفرة من الإلكترونات في حزمة التوصيل تسمى بشكل منطقي جدًّا، «الموصلات» والطاقة التي تمدها البطاريات تجعل هذه الإلكترونات تنتقل فيما يعُرف عامة «بالتيار الكهربي». بعض المواد الصلبة الأخرى لا

تملك إلكترونات في حزمة التوصيل ولا توصل الكهرباء، وتُسمى بالمواد العازلة، والمواد التي تتوسط الموصلات والعوازل تُسمى «أشباه الموصلات»، وهو اسم له مردود حميد لمادة ثورية.



على سبيل المثال: أشباه الموصلات

لقد غير ابتكار الترانزستور الذي يقوم على أشباه الموصلات العالم بأثره. ما أشباه الموصلات إذن؟ كما يتضمن الاسم، مواد لها خصائص كهربية تتوسط تلك التي للموصلات والعوازل، وأشباه الموصلات هي المواد التي توصل التيار أحيانًا.

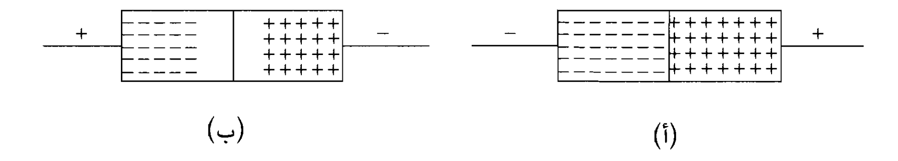
وعادة يكون في أشباه الموصلات القليل جدًّا من الإلكترونات في رابطة التوصيل لنقل التيار، إلا أن الفجوة في الطاقة بين حزمة التوصيل وحزمة التكافؤ صغيرة بما يكفي حتى إن الإلكترونات تستطيع، بالقليل من الإثارة، أن تعبر الفجوة وتجعل المادة موصلة، وتكون هذه الإثارة في شكل الجهد الكهربي المستخدم أو الحرارة أو الضوء. وتعتبر بعض المواد الصلبة أشباه موصلات طبيعية أو ما نسميه أشباه موصلات «بالطبيعة». إلا أنه من الممكن جعل البعض الآخر قادرًا على عبور الفجوة عن طريق عملية تُسمى «بالتطعيم» مع أن الأمر ليست له أية علاقة بالرياضيين أو بالمخدرات.

عادة ما يكون السليكون أول مادة تأتي بأذهاننا عندما نتحدث عن أشباه الموصلات، لكن في حقيقة الأمر لا يعتبر السليكون مادة شبه موصلة بالطبيعة،

فالسليكون الصلب يجب أن يطعم ليصبح مادة شبه موصلة، والتطعيم هو عملية إضافة كمية قليلة جدًّا من الشوائب للمادة الصلبة مثل السليكون. وهناك اثنان من الشوائب المفضلة للسليكون هما الفوسفور والألمنيوم حيث إنهما يقعان على جانبي السليكون في الجدول الدوري. فهما لديهما تقريبًا نفس الحجم والسالبية الكهربية، ومن ثم يسهل أن يتناسبا مع السليكون في الحالة الصلبة، فهما يغيران خصائص التوصيل للسليكون حيث إن لديهما إلكترونًا مزيدًا وإلكترونًا منقوصًا على التوالي عن السليكون.

وكما يمكن أن نرى من خلال الجدول الدوري، لدى السليكون أربعة إلكترونات تكافؤ متاحة لكي تدخل في عملية الترابط. وعليه ترتبط بأربع ذرات سليكون أخريات عندما تتحول إلى الحالة الصلبة، مانحة لكل منهما عددًا مشتركًا بثماني إلكترونات، وطبقة مشبعة تمامًا. لكن إذا كانت ذرة فوسفور تنسل إلى الخليط، عندئذ يكون هناك إلكترون زائد وهو ما لا يكون مناسبًا تمامًا، وهذا الإلكترون الزائد يسهل جدًّا ترقيته ليصل إلى حزمة التوصيل، ومن ثم يسمح للمادة أن تكون موصلة بأكثر سهولة عند توصيلها بالبطارية. وإذا زجت ذرة ألمنيوم، ذات ثلاثة إلكترونات تكافؤ، بنفسها إلى داخل السليكون الصلب، عندئذ يكون هناك ثقب حيث يوجد عادة إلكترون تكافؤ. يسمح هذا الثقب الزائد أيضا بتدفق التيار بأكثر سهولة؛ ذلك لأن الإلكترونات المدفوعة تجد الآن مكانًا للذهاب إليه، ويُطلق على السليكون المحقون بمادة تمده بالمزيد من الإلكترونات «شبه موصل من النوع (n)» لأن الإلكترون يساهم بشحنة سالبة. أما السليكون المحقون بمادة ذات عدد أقل من الإلكترونات فيُطلق عليه «شبه موصل من النوع (p)» لأنه يساهم بشحنة موجبة.

وعندما ترتبط قطعة من مادة من النوع (n) مع قطعة من النوع (p)، يتكون ترتيب يُسمى الصمام الثنائي، وهو وحدة تسمح للتيار بالتدفق في اتجاه واحد فقط، حيث لا يسمح القليل من شبه موصل من النوع (p) ملتحقًا بشبه موصل من النوع (n) بتدفق التيار إلا عندما تكون الإلكترونات متجهة إلى الجانب السالب عبر الجانب الموجب ثم إلى الخارج. وتتصرف البطارية التي يكون الجانب السالب منها ملحقًا بجانب النوع (n) من الصمام الثنائي وكأنها نهر يعطي المياه التي تتدفق عبر سد. أما الجانب الموجب من البطارية فيمثل الخزان الذي تنصب فيه المياه. وعلى العكس إذا وُصل الجانب السالب



شكل ١-٦-٤: ينشأ الصمام الثنائي من ارتباط شبه موصل من النوع (n) بشبه موصل من النوع (p). عندما يوصل مصدر للإلكترونات كما هو موضح في الشكل (أ)، يتدفق التيار عبر الصمام الثنائي، وعندما يُوصل مصدر للإلكترونات كما هو موضح في الشكل (ب)، يحدث صراع مثل شد الحبل ولا يتدفق أي تيار.

من البطارية بالنوع (p) من المادة ووُصل الجانب الموجب من البطارية بالنوع (n) من المادة، عندئذ يحدث للإلكترونات صراع مثل شد الحبل ينتهي بهدنة ولا يتدفق أي تيار.

ويصبح هذا التصرف مفيدًا عند إضافة القليل من مادة ثالثة من أشباه الموصلات، فيكون هناك سندوتش (pnp) أو (npn). ولا يستطيع التيار أن يتدفق في أي من الاتجاهين في حالة المزيج (pnp) أو المزيج (npn)، إلا إذا قام مصدر آخر بحقن أو دفع الإلكترونات من الطبقة المتوسطة في السندوتش مكونًا مواد من النوع (ppp) أو النوع (nnn) التي يمكنها أن توصل الكهرباء.

يستدعي الموقف تشبيهًا: تشبه المادة التي من نوع (pnp) أو (npn) نهرًا به سد، عند تغيير (n) في (pnp) بسحب إلكترون يشبه فتح السد والسماح للماء بالتدفق. ينطبق نفس الشيء على المادة (npn) إذا حُقِنَ إلكترون إلى المادة (p). لكن كيف يمكننا أن نحقن أو نسحب إلكترونًا؟ عن طريق البطارية، فالبطارية المتصلة بمنتصف المادة يمكنها أن ترفع أو تُخفض سد الإلكترونات.

إذن ما هو الهدف الذي يمكن الوصول إليه من وراء هذا؟ يستطيع الآن تيار صغير أن يتحكم في تيار كبير وأن يُطفئه ويشغله بالقليل من الإلكترونات المتدفقة، ولكي تعي أهمية الموقف لنلقي نظرة على الماضي لبرهة. كان الأوربيون في أوائل العصور الوسطى معوزين على الصعيد التكنولوجي ومعتمدين على العمالة اليدوية، وكانوا إذا احتاجوا إلى دقيق مطحون، قاموا بربط العديد من عبيد الأرض في طاحونة ثم جعلوهم يبدءون الدفع، إلا أن الطاعون الأسود قضى على طبقات العمال، ووجد الناس الباقون أنفسهم أكثر إبداعًا عند استخدام العتلة والتروس والماكينات البسيطة الأخرى. واكتشفوا

أن عاملًا واحدًا برافعة ونظام من التروس يستطيع أن يرفع السد مما يسمح للمياه بالتدفق عبر ساقية، وهذه الساقية تدير الطاحونة وتقوم بالعمل الذي يقوم به الكثير من العبيد.

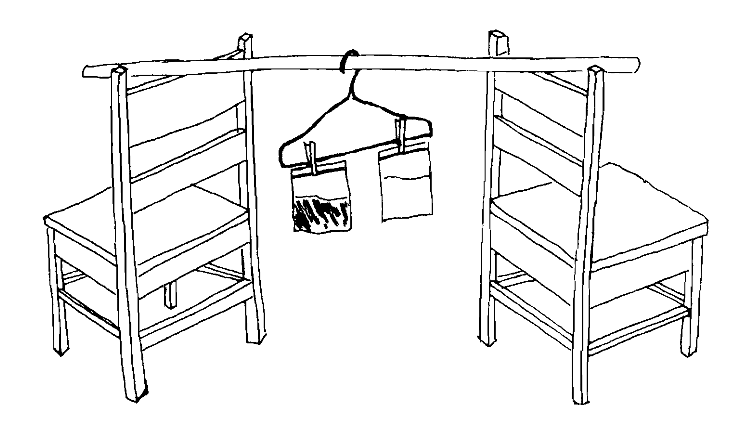
وقد حدث التغيير في العصور الوسطى في أوروبا تدريجيًّا بصورة أكثر من التغيير الذي اختبرناه نحن ويرجع ذلك إلى أشباه الموصلات، إلا أن الأثر الاجتماعي مشابه. وبدلًا من عامل يعمل على عتلة تشغل السد، لدينا الآن بطارية بداخل لوحة تشغيل تشغل التيار وتفصله. وتُسمى مفاتيح أشباه الموصلات «ترانزستور» التي تستخدم للتشغيل والفصل أو النظام الثنائي الذي يشكل أسس الحاسوب.

كيف يتثنى للمحولات أن تستخدم للقيام بكافة الوظائف المعقدة في الحواسيب؟ أولًا عن طريق الحساب. يمكن للحواسيب الحساب باستخدام الأصفار ورقم ١ الذي يقابل التشغيل والفصل، ومع أننا اعتدنا الحساب باستخدام النظام العشري، ربما لأننا خُلقنا بعشرة أصابع، فإن الأنظمة الأخرى للحساب ممكنة. فالساعات تُحسب بمجموعات ستينية (٦٠ ثانية تكون دقيقة و٦٠ دقيقة تكون ساعة) ويوضع البيض في مجموعات عدد كل منها اثنتا عشرة بيضة أي بالدستة. تحسب الحواسيب بمجموعات ثنائية وتستخدم الصفر ورقم ١ (تشغيل وفصل) للأرقام العشرية. تستخدم الحواسيب أيضًا «**و**، **لا**، **أو**» وهي عين الكلمات المستخدمة للربط بين الكلمات الرئيسية في البحث على الإنترنت (نظام يُسمى قواعد المنطق البوليني) وأيضًا منطق السبب والنتيجة، فعلى سبيل المثال إذا كان المفتاح مُشغلًا على الحرف أ، **الحرف و** وعلى **الطابعة** تُنتج الطابعة في هذه الحالة الحرف (أ).

لكن إذا كانت المفاتيح هي كل ما يحتاج إليه الحاسوب، لماذا إذن لا يمكن أن تعمل بدون محولات؟ الإجابة هي أن هذا ممكن وقد كان بالفعل، فلا تعتبر المفاتيح شيئًا جديدًا ولا حتى المفاتيح الكهربية، لقد كانت الصمامات المفرغة تُستخدم في القديم لمفاتيح التشغيل والفصل (صفر و١) بدلًا من الترانزستور، ومع المزايا الأخرى التي تتمتع بها صمامات التشغيل ومع استخدامها في الكثير من التطبيقات، فإن المشكلة في استخدامها هي أن لها حجمًا كبيرًا وتولد الكثير من الحرارة، وعليه كانت تتطلب الحواسيب القديمة الكثير من الفراغ والتبريد، وكان الأمر يحتاج إلى عدد هائل من المفاتيح لأي مهمة متوسطة التعقيد، لكن

بوجود المحولات يمكن وضع عدد كبير من المفاتيح في منطقة صغيرة جدًّا دون توليد كم هائل من الحرارة.

وبمجرد استنباط المبادئ الرئيسية لأشباه الموصلات، وجه العلماء جهودهم نحو ابتكار أنواع مختلفة من أشباه الموصلات، وفي هذه الأيام ثمة أشباه الموصلات التي تتأثر بالحرارة أو الألوان الضوئية المختلفة. فثمة أجهزة تقوم على المنطق الذي تقوم عليه أشباه الموصلات الذي تقوم بكل شيء ابتداء من ضبط المصباح إلى قيادة المركبات الفضائية. ولتكوين العديد من المواد يتطلب الأمر فهمًا كاملًا لمبادئ الروابط الكيميائية والمبادئ الرئيسية للتفاعلات الكيميائية، حيث إن اثنين من هذه المفاهيم الأساسية — حفظ الكتلة وقانون النسب الثابتة — سيناقش فيما بعد.



تجربة ٧: كيمياء الأحجار الكريمة

«لقد قالت هي: «لكن القوانين الكيميائية موجودة» فلكونها امرأة هي في حاجة إلى إيمان.»

أناتول فرانس في روايته «جزيرة البطريق» ١٩٠٠

أحضر كيسين من البلاستيك ذاتيي الانسداد في حجم السندوتش وكيسين من البلاستيك ذاتِيَي الانسداد في حجم الجالون، ثم ارتد نظارتك الواقية. أحضر علاّقة ملابس (شماعة)، ثم علِّقها بحيث تعمل كالميزان، ربما يكون أفضل وضع لتعليق العلاّقة هو استخدام عصا مكنسة مُثبتة على كرسيين. ضع بداخل كل كيس كبير بالتساوي ملء ملعقة شاي بلاستيكية (٥ مليلتر) من زبد الطرطير مع نصف كوب من فوق أكسيد الهيدروجين (٦٠ مليلترًا). اخلط هذه المكونات جيدًا بفرك كل كيس من الخارج بأصابعك، ولا تغلق الأكياس بعد.

صب داخل كل كيس صغير من الأكياس التي بحجم السندوتش ملعقة شاي (٥ مليلتر) من محلول كبريتات النحاس (مجهز كما هو موصوف في قائمة المشتريات والمحاليل). أحكم غلق هذين الكيسين تمامًا وضع واحدًا داخل كل كيس من الكيسين الكبيرين. الآن أحكم غلق الكيسين الكبيرين وعلقهما

بمشابك غسيل على علاّقة الملابس، واحدًا عند كل طرف. عدل وضع الكيسين على علاّقة الملابس بتحريك مشابك الغسيل ذهابًا وإيابًا حتى يحدث توازن بين كل من الكيسين وتستوي علاّقة الملابس. يعمل هذا الميزان اليدوي جيدا إذا كانت علاّقة الملابس معلقة حول شيء مستدير من ثم يمكن لكُلّاب العلاّقة أن يتحرك مجيئًا وإيابًا بطريقة غير مقيدة. بمجرد أن يتوازن الكيسان ثبت مشبكي الغسيل في مكانيهما بشريط لاصق. تحقق مرة أخرى من أن الكيسين لا يزالا متوازنين.

نأتي الآن إلى الجزء الذي يتطلب الحذر. افتح أحد الكيسين الصغيرين اللذين داخل الكيسين الكبيرين من الخارج دون أن تفتح الكيس الكبير. صب محلول كبريتات النحاس من الكيس الصغير على خليط زبدة الطرطير وفوق أكسيد الهيدروجين الذي بداخل الكيس الكبير. يبدأ التفاعل ببطء، لكن يحدث فوران في خلال عشر ثوان. أخيرًا تفسح طرطرات النحاس ذات اللون الأزرق السماوي المثير المجال للخليط الأخضر الجيري من مركب الطرطرات مع أكسيد النحاس البرتقالي اللون. يولد التفاعل حرارة كافية حتى إنه يمكنك ملاحظة تكثف داخل الكيس الكبير وتشعر بالدفء من الخارج. وتذكرنا الألوان الخلاقة الناتجة عن التفاعل بألوان الأحجار الكريمة لسبب بليغ ألا وهو أن ألوان الأحجار الكريمة مثل اللازورد والفيروز تنشأ من أملاح النحاس، ويبدو العديد من أملاح النحاس بمقادير ضئيلة في شكل خطوط وعروق ملونة في الأحجار اللامعة.

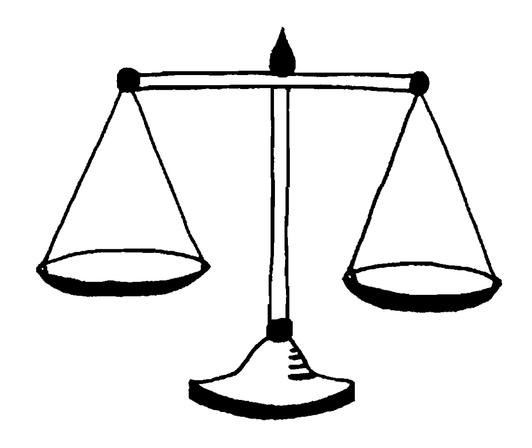
ويعتبر كل من خروج الحرارة والفقاعات وتغير اللون من مؤشرات حدوث التفاعل. ولم تعد المادة الآن التي في كيس التفاعل هي نفس المادة الأصلية. لكن إذا كنت حذرًا أثناء فتح الكيس الداخلي، ينبغي أن تظل علاّقة الملابس متوازنة. ويعتبر فعل الاتزان هذا مثالًا على «حفظ الكتلة» وهي فكرة أن الكتلة لا تنشأ ولا تتلاشى بفعل الوسائل الكيميائية؛ فكتلة المتفاعلات، أي المواد التي في الكيس الذي تُرك كما هو ولم يحدث فيه تفاعل، لا تزال هي نفس كتلة النواتج، أي المواد الزرقاء والخضراء في الكيس الذي حيث سُمح لها بالتفاعل. ولا يهم كيف تتغير الأشياء، لكن يكفي أن بعض الأشياء تظل كما هي.

والجزء الثاني من هذه التجربة قد تم بالفعل. تذكر أن الفينول الأحمر الذي هو دليل (pH) مياه حمام السباحة قد تغير لونه إلى اللون الأصفر عند إضافته إلى الماء، وإلى اللون البنفسجي المحمر لدى إضافته إلى محلول

بيكربونات الصودا. وتذكر أيضًا أن محلول الخل والحديد قد تحول إلى اللون الأحمر عند إضافة فوق أكسيد الهيدروجين. وتشير هذه الملحوظة إلى أن ثمة فرقًا بين الماء وفوق أكسيد الهيدروجين ومحلول النشادر ومحلول الخل. ما هذا الفرق؟ الصيغة الكيميائية للماء H_2O، أي ذرتا هيدروجين وذرة أوكسجين. وصيغة فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2، أي ذرتا هيدروجين وذرتا أوكسجين. والعنصر النشط في القواعد مثل محلول البيكربونات هو أيون الهيدروكسيد OH^- الذي يتكون من ذرة هيدروجين وذرة أوكسجين. والعنصر النشط في الأحماض مثل الخل هو أيون الهيدرونيوم H_3O^+ ويتكون من ذرة واحدة أوكسجين وثلاث ذرات هيدروجين.

وعليه يكون لديك: H_2O، H_2O_2، OH^-، H_3O^+، حيث لا يوجد الكثير من الاختلافات المطبعية! لكن شتان الفرق بينهما من الناحية الكيميائية، مما يوضح لنا المبدأ الذي يُطلق عليه قانون النسب الثابتة وهو يدور حول أنه ليست العناصر وحدها هي التي تحدد طبيعة المركب، بل النسب أيضا، وعواقب حفظ الكتلة وقانون النسب الثابتة هي المواضيع التي سنتناولها لاحقًا.





الفصل السابع

الالتزام بالمبادئ

«يشبه اجتماع فردين الاتصال الكيميائي لمادتين: إذا حدث أي تفاعل بينهما، فإن كليهما يتحول.»

كارل جوستاف جونج ١٩٢٠

بعض الناس طهاة ماهرون بطبيعتهم، ويضيفون القليل من هذا واليسير من ذاك، أما البقية منا فلا يملكون إلا الوصفات. نحن نفضل الاتجاهات الواضحة التي توضح بتعابير لا لبس فيها المكونات المطلوبة، والمقادير المطلوبة، وخطوات عمل المنتج المطلوب وعدد الواجبات المطلوب عملها. وفي حين تنتشر بعض الأفكار الدارجة عن أن الكيميائيين ينسجمون مع المجموعة التي تقوم بإضافة القليل من هذا واليسير من ذاك — وأنه يمكن إدخال قدر كبير من الإبداع والفنون على البحث الكيميائي — إلا أن الكيميائيين ينسجمون مع المجموعة الأخرى التي تتبع الوصفات، فالمعادلات الكيميائية المتزنة مثل: $2H_2O \xrightarrow{\text{spark}} 2H_2 + O_2$ هي وصفة كيميائية.

وسوف نستهل مناقشتنا عن الوصفات هذه عن طريق فحص اثنين من المبادئ الرئيسية اللذين تُبنى عليهما الوصفات: وهما حفظ الكتلة وقانون النسب الثابتة. يعرفنا قانون النسب الثابتة بقائمة المكونات ويخبرنا قانون حفظ الكتلة عن مدى كبر الكعكة التي سوف نخبزها.

يخبرنا قانون النسب أن مكوناتنا لها صيغة كيميائية محددة، فعلى سبيل المثال، H_2O هي الصيغة الكيميائية للماء. وتحوي الصيغة الكيميائية في جوهرها قائمة بالعناصر التي تكون المادة وعدد ذرات كل عنصر مطلوب. ثمة بعض المرونة، لكن في ترتيب العناصر فقط، تمامًا مثل المرونة الموجودة في ترتيب العناصر في الجدول الدوري. ويمكن جمع كم معلومات من طريق الصيغة أكبر من جمعها من مجرد العدد ونوع المكونات.

فعلى سبيل المثال الصيغة الكيميائية لملح الطعام NaCl تظهر دائمًا في نفس الترتيب فالصوديوم يُكتب أولًا ثم الكلور من بعده، ويُبنى هذا الترتيب بناء على اتفاق بين الكيميائيين وهي أنه ينبغي أن يُلفظ الأيون الموجب لمركب أيوني أولًا، ويعُزى ذلك إلى ميل الأيونات الفلزية لتكوين أيونات موجبة، من ثم تُسمى الفلزات أولًا بشكل عام يعقبها اللافلز، كما أصبح الأمر أيضًا ممارسة قياسية حيث نضع العنصر الذي يقع في مركز المجموعة المرتبطة معًا برابطة تساهمية في مقدمة المجموعة. من ثم تكون صيغة النشادر — التي لديها ثلاث ذرات هيدروجين مرتبطة عن طريق رابطة تساهمية بذرة نيتروجين مركزية — هي NH_3. ويملك ثاني أكسيد الكربون الذي تكون صيغته الكيميائية CO_2، ذرة كربون مركزية وذرتا أوكسجين على كلا جانبيها. من ثم مجرد إلقاء نظرة على الصيغة الكيميائية للعنصر يمكننا أن نعرف أن هناك نواتي أوكسجين مرتبطتان بسبب وجود الرقم ٢ على الأوكسجين.

علاوة على أنه يعتبر ترتيب العناصر في المركب الكيميائي أمرًا ذا أهمية كبرى، وعليه يختلف المركب CH_3CH_2OH عن المركب CH_3OCH_3. تحوي كلتا المادتين نواتي كربون، وست نوى هيدروجين، ونواة واحدة أوكسجين، إلا أن المادة الأولي هي الكحول الإيثيلي وأحيانًا يُطلق عليها «كحول الحبوب»، والمادة الأخرى هي ثنائي مثيل الإيثير، وهما مادتان خصائصهما الكيميائية مختلفة بلا ريب، ويُطلق على المركبات التي لها نفس عدد ونوع العناصر لكنها مرتبة في ترتيب مختلف «الأيسوميرات».

ثمة ثلاث مركبات أيسوميرية شهيرة وهي الحامض الفلميني والحامض السياني والحامض الأيزوسياني. ويستخدم الحامض الفلميني، HONC، في عمل المتفجرات التي تشارك اسمها مع الفعل fulminate بمعنى «يفجر» والتي تعنى «يثور» لفظيا. وصيغة الحامض السياني هي HOCN ويستخدم في عمل السيانات السامة. وصيغة الحامض الأيزوسياني هي HCNO وهو أقل شيوعًا حيث إنه عادة ما يذهب في حاله كمادة أساسية لعمل الكثير من المركبات العضوية ولا ينفجر فيك أو يسبب لك التسمم مباشرة!

ويذكر قانون النسب الثابتة ببساطة أن الصيغة الكيميائية لأي مركب واحد تكون ثابتة ولا تتغير، وأن أي تغيير في الصيغة الكيميائية يفضى إلى مادة جديدة ذات خصائص جديدة (تمامًا مثلما يؤدي تبديل المكونات في الزبد إلى الفرق بين الكعكة المطبقة والكعكة المحلاة). وعندما يكون هناك تفاعل يؤدي إلى تغيير الصيغة، تُعطَى الوصفة عن طريق معادلة كيميائية. وبالاتفاق معًا قرر الكيميائيون وضع المواد الأصلية، التي هي المتفاعلات، عن اليسار يعقبها سهم ثم المواد التي انتهينا إليها أي النواتج عن اليمين. فعلى سبيل المثال:

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2$$

التي تعني أن الكربون بالإضافة إلى الأوكسجين سوف يكونان ثاني أكسيد الكربون.

إلا أن ثمة اختلافًا بين وصفات كتاب الطهو والتفاعلات الكيميائية؛ فليست كل التفاعلات الكيميائية تنتهي إلى الاكتمال. ففي الكثير من التفاعلات الكيميائية، تظل كمية معينة من مواد التفاعل كما هي على طبيعتها الأصلية دون أن تشترك في التفاعل الكيميائي، مثل البودنج (حلوي تعد من دقيق أو أرز ولبن وبيض وفاكهة وسكر) غير المكتمل التسوية، فالبودنج الذي لم يُطبخ تمامًا يكون بعضه بودنج وبعضه سائل. تشبه معظم التفاعلات الكيميائية البودنج غير المكتمل التسوية، فبعض نسب المواد المتفاعلة تتحول إلى نواتج والبعض الآخر لا يتحول. ويظل بقاء الكتلة كما هو بالنسبة لتفاعلات البودنج غير المكتملة، إلا أننا سنفترض مبدئيًّا أن كل التفاعلات تكتمل، أو بكلمات

أخرى سنفترض أن كل المتفاعلات تتحول إلى نواتج وأن البودنج طُبخ تمامًا، كل هذا من أجل التوضيح. عندما يكتمل التفاعل الكيميائي، يمكن التنبؤ التام بكمية النواتج عن طريق بقاء الكتلة: فإذا تضمنت الوصفة الكيميائية رطلين من المتفاعلات فستكون كتلة النواتج رطلين أيضًا.

قد يبدو مبدأ بقاء الكتلة أمرًا بديهيًّا. إذا حدث التفاعل الكيميائي، مثل ذلك التفاعل الذي في التجربة السابقة، فنحن نشعر بديهيًّا أن الكتلة قبل التفاعل ينبغي أن تظل كما هي دون تغيير بعد التفاعل. إلا أن الدليل على ذلك لا يتسم بالوضوح دائمًا. إذا قام أحد الطهاة المعاصرين بوزن كل مكونات عمل الفطيرة المحلاة قبل طهيها ثم قام بوزن الفطيرة بعد الطهي مباشرة، فإنه لن يندهش إذا ما وجد أن الكتلة أقل، فيمكن مشاهدة الفقاعات أثناء طهي الفطير كعلامة على تصاعد الغاز من الناتج، وعلى أن الكعكة أصبحت بعد طهيها ذا ثبات أكثر جفافًا، دليلًا على فقدان الماء. لكن إذا ولد هذا الطاهي في وقت ما قُبيل هذا الإدراك الواضح لتركيب الهواء وبخار الماء، لما استطاع هذا الطاهي أن يعرف سوى أن الفطيرة فقدت جزءًا من وزنها ولما خلص بالضرورة إلى أن الكتلة بقيت. وأحد الطهاة الذين لم يُخدعوا في هذا الأمر هو الكيميائي لافوازيه.

لقد التقينا بلافوازيه من قبل في خضم مناقشتنا عن الأكسدة والاختزال، وسنضيف الآن أن لافوازيه كان أيضًا ذا أثر في ترسيخ صلاحية مبدأ بقاء الكتلة، وقد استخدم التفاعل:

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2$$

لكن على غرار نمط برجوازي لا غش فيه، استخدم لافوازيه الماس من مصدره الكيميائي وهو الكربون، واستخدم أشعة الشمس المُجَمعَة عبر عدسة ضخمة، وقام بإجراء التجربة في وعاء محكم الغلق وبين بواسطة اندفاع الهواء بعد التفاعل أن جزءًا من الهواء استهلك. إلا أنه قام بوزن الوعاء قبل كسره وفتحه وأثبت أنه يزن بعد تفاعل احتراق الماس تمامًا مثل قبل التفاعل، أي أن الكتلة بقيت.

لكن ثمة بعض التحسينات الهامة التي كان يجب إدخالها قبل ترجمة عمل لافوازيه إلى تفاعلات كيميائية حديثة، ومن أبرزها وصف جون دالتون للذرات. ومع أن هذه الفكرة تحوم في الأجواء على الأقل منذ عصر الفلاسفة اليونانيين القدامى، أخذ دالتون الحظوة في بسط فكرة اختلاف ذرات العناصر المختلفة، وأحد الخصائص التي تجعلها مختلفة هي الكتلة، فكل عنصر لديه ذرات ذات خصائص كتلة مختلفة. وقد أنارت هذه الفكرة الطريق لتحديد الكتلة — الكتلة الذرية — لكل من العناصر. وفي التفاعل السابق بين الماس والأوكسجين، تتضمن الصيغة الكيميائية تكوُّن جزيء ثاني أكسيد الكربون عند اتحاد ذرتي أوكسجين مع ذرة كربون. وتؤكد لنا ذرات دالتون أيضًا بقاء الكتلة: حيث إنه يوجد ذرة كربون وذرتان أوكسجين عن اليسار، وكذلك ذرة كربون وذرتان أوكسجين عن اليمين، أي نفس عدد الذرات، بنفس الكتلة، مع اختلاف الترتيب فحسب. وإذا كان عدد الذرات ونوعها هو نفسه في اليمين كما في اليسار، يُقال إن التفاعل متوازن.

ويمكن مضاهاة التفاعل ببائع الزهور؛ إذا قام بائع الزهور بوضع الزهرية على الميزان وإلى جانبها باقة من الزهور، فإننا لن نتوقع أن تتغير قراءة الميزان بعد أن يلتقط بائع الأزهار كل الزهور وتنسيقها بداخل الزهرية، تشبه التفاعلات الكيميائية التنسيق الجديد للزهور — ليست الزهور جديدة ولكن التنسيق هو الذي يكون جديدًا — من ثم تكون الكتلة هي نفسها قبل وبعد تنسيق التفاعلات الكيميائية.

وتنقل لنا التفاعلات الكيميائية المتوازنة معلومات جوهرية بشأن كمية المتفاعلات التي سنحتاجها للحصول على كمية معينة من النواتج، أو بطريقة أخرى كمية النواتج الناجمة عن كمية معينة من المتفاعلات، ويعتبر هذا النوع من المعلومات مهمًّا عند التعامل مع تفاعلات تحدث في كئوس موضوعة على مائدة. لكن عند التعامل مع حمولات صهاريج من المواد الكيميائية في مفاعلات في حجم الصوامع، يكون هذا النوع من المعلومات في غاية الحيوية والخطورة، ومن حسن حظ الصناعات الكيميائية وجود كيميائيين مكرسين لدراسة أفضل الطرق للتعامل مع كافة أنواع المواقف الكيميائية الدقيقة والمتطلبة الحذر والبراعة من كميات الحرارة الهائلة إلى كميات المواد الهائلة إلى الحامض والقاعدة وتفاعلات الحالة الغازية؛ فهم مهندسون كيميائيون بارعون.



على سبيل المثال: الهندسة الكيميائية، هذا كل شيء

عندما يفكر الناس في الصناعات الكيميائية، قد يأتي على أذهانهم صناعة المبيدات الحشرية أو الأدوية أو المذيبات أو مواد التشحيم أو عمليات معقدة نسبيًا، ويندهش الكثير من الناس عندما يعلمون أن معظم صناعة الكيمياء ترتكز حول صناعة أربع مواد كيميائية بسيطة نسبيًّا وهي: حامض الكبريتيك وحامض الفوسفوريك وهيدروكسيد الصوديوم وصديقنا القديم كلوريد الصوديوم.

ويمثل حامض الكبريتيك هذا ومشتقاته الحجم الأكبر من الكيماويات المُنتجة في العالم. ويأخذ حامض الكبريتيك قوام الدواء الشرب في شكله المركز (والمعروف بالأوليم oleum) وكان معروفًا في وقت ما بزيت الزاج، بسبب هذا المظهر. وحامض الكبريتيك مسبب شديد للتآكل ويهاجم البلاستيك والخشب والجلد والأغشية المخاطية ومعظم الفلزات في حالاتها المركزة، لكن يمكن تخزينه في زجاجات مصنوعة من الزجاج. ويعتبر حامض الكبريتيك المخفف جدًّا (كمية صغيرة من الحامض مخلوطة بكمية كبيرة من الماء) هو المادة الفعالة في المحلول المُخفف لقلوية مياه حوض السمك المقترح في «قائمة المشتريات والمحاليل». ويعتبر حامض الكبريتيك في شكل أكثر تركيزًا هو محلول الحامض المستخدم في بطاريات السيارات الحامضية الرصاصية، وتُصمم بطاريات السيارات هذه الأيام بطريقة محكمة الغلق بحيث لا يكون لدى المُستخدم العادي للسيارة سبب لفحص البطارية أو تزويدها بالسائل. ويتثنى للسائق أن يستمتع بسرعة مُحرِّك عالية دون الالتقاء بحامض الكبريتيك الذي في البطارية. أما هؤلاء الذين يتحتم عليهم التعامل مع حامض البطارية، فهذا التعامل عندهم جدير بالذكر. فـهيجان البشرة يكون مباشرًا وتأثيره على الملابس قوي ويتعذر إلغاؤه.

لكن استخدام حامض الكبريتيك في بطاريات السيارات لا يعلل إنتاجه بهذه الكميات المهولة، وأكبر استخدام فريد لحامض الكبريتيك هو في المخصبات لاسيما في الخليط الذي يحوي حامض الكبريتيك وصخر الفوسفات والذي يُسمى بالسوبرفوسفات، لأن الفوسفات هو أحد المعادن الغذائية الأساسية التي يحتاجها النبات إلى جانب أن الفوسفات مكون أساسي في العظام، ومسحوق العظام كان يشيع استخدامه في وقت ما كمُخصب. إلا أنه يمكن في هذه الأيام استخدام الفوسفات الصخري المُعالج بحامض الكبريتيك ليُصبح أكثر قابلية للذوبان أيضًا.

ويُستخدم هيدروكسيد الصوديوم أو الي، NaOH، في إنتاج الصابون والأنسجة والمنتجات البترولية والصبغات والمنظفات والورق، وينتج هيدروكسيد الصوديوم عن طريق تشغيل تيار كهربائي عبر خليط من الماء وNaCl (ملح الطعام). وتعتبر المعادلة المتزنة الآتية صريحة:

$$2H_2O + 2NaCl \longrightarrow 2NaOH + Cl_2 + H_2$$

ويشير الرقم الموجود أمام صيغة الماء وأيضًا أمام صيغة ملح الطعام إلى عدد وحدات كل منهما التي تدخل في التفاعل. فجزيئان ماء يتفاعلان مع وحدتين من كلوريد الصوديوم ليكونا وحدة واحدة من هيدروكسيد الصوديوم وجزيء واحد من غاز الكلور Cl_2، وجزيء واحد من غاز الهيدروجين H_2. وبكلمات أخرى إذا كان علينا أن نكتب كل مُتفاعل على حدة تكون المعادلة على الصورة الآتية:

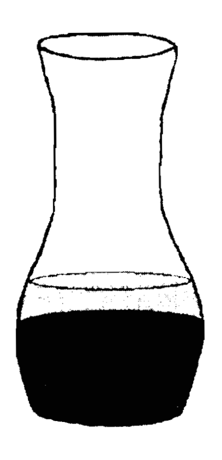
$$H_2O + H_2O + NaCl + NaCl \longrightarrow NaOH + NaOH + Cl_2 + H_2$$

وعدد الهيدروجين قبل التفاعل هو ذرتان في كل جزيء ماء أي أربع ذرات هيدروجين. وإجمالي ذرات الهيدروجين بعد التفاعل ذرتان من غاز H_2، الهيدروجين، بالإضافة إلى واحدة من كل جزيء NaOH، هيدروكسيد الصوديوم، أو أربع ذرات. وعليه يكون لدينا نفس الكمية من الهيدروجين قبل وبعد التفاعل لكنها تتواجد في مركبات مختلفة. الهيدروجين متزن، وعدد ذرات الأوكسجين قبل التفاعل ذرة واحدة من كل جزيء ماء، أي ذرتي أوكسجين، ويكون عدد ذرات الأوكسجين بعد التفاعل ذرة من كل جزيء هيدروكسيد الصوديوم،

NaOH، أو ذرتي أوكسجين. الأوكسجين متزن، وعدد ذرات الصوديوم Na قبل التفاعل ذرة واحدة في كل جزيء كلوريد الصوديوم، وإجمالي ذرات الصوديوم بعد التفاعل ذرة في كل جزيء هيدروكسيد الصوديوم، وعليه الصوديوم متزن، وإجمالي الكلور هو ذرة في كل جزيء كلوريد صوديوم قبل التفاعل واثنان في الكلور Cl_2 بعد التفاعل.

إلا أن المشكلة في هذه الطريقة الخاصة لإنتاج هيدروكسيد الصوديوم للهندسة الكيميائية هي ليست توازن التفاعل، إنما التعامل مع النواتج الفرعية؛ فكلا النواتج الفرعية لهذا التفاعل، الكلور Cl_2 والهيدروجين H_2، هي غازات تحت الظروف العادية، والغازات تشغل حيزًا من الفراغ، رطل لكل رطل، أكبر من نظائرها في الحالة الصلبة. ويعتبر إنتاج نواتج فرعية في حالة غازية هو الأساس في تجربة صاروخ الزجاجة، حيث تتفاعل بيكربونات الصودا مع الخل مكونة غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يتمدد ليشغل حيزًا كبيرًا جدًّا من الفراغ أكبر من حجم ذلك المفاعل مُجبرًا السدادة على الاندفاع بقوة. ويقابل إنتاج كل طن من هيدروكسيد الصوديوم انبعاث نحو طن وثلاثة أرباع الطن من الغاز، أي أن إنتاج كل قدم مربع من هيدروكسيد الصوديوم، NaOH، يقابله إنتاج ما يقرب من ألفي قدم مربع من الغاز، ويشبه هذا التفاوت في الحجم تضخم جهاز تليفزيون حجمه سبع عشرة بوصة ليملأ حجرتين من البيت. فهذا مقدار كبير جدًّا من الحجم وقد يمكنه أن يسبب انفجارًا كبيرًا. وعليه يمثل احتواء الغاز والتهوية والانبعاث تحديًا كبيرًا للعاملين في صناعة المواد الكيماوية.

لكن مثلما يؤدي الاستخفاف بمثل هذه المشكلات إلى تداعي مهنة المهندسين الكيميائيين، وتؤدي المغالاة في هذا الأمر إلى نفقات غير ضرورية أيضًا، وعليه يجب أن يكون المهندس الكيميائي أيضًا على دراية بأن عملية التقدير تقوم على افتراض أن كل جزيء من الغاز يشغل حيزًا من الفراغ كما لو كان الشيء الوحيد الموجود في العالم. في واقع الأمر، ثمة انجذاب وتنافرات بين الجزيئات. ويؤدي الانجذاب بين الجزيئات إلى تكثف الغازات إلى سوائل. ويزيد التنافر بين الجزيئات من صعوبة ضغطها حتى نقلل من الحجم، ويجب أن يأخذ المهندسون الكيميائيون هذا الانجذاب والتنافر اللذين يُطلق عليهما معًا «القوى البينجزيئية»، بعين الاعتبار، فتعتبر أيضًا هذه القوى البينجزيئية الأساس لخصائص عديدة مثيرة نلحظها للمواد وهو ما سنتعرض له الآن.



تجربة ٨: طبقة فوق طبقة

«واليوم إذا ما التقت برجل، هب أنه بطلنا، ستتصارع معه كيمياؤها حتى تذوب بها، كأنها بورجيا وكأنه نيرون كأن الأمر خدعة شيطانية صغيرة».

إيدجر لي ماسترز في كتابه «مختارات من سبون ريفر» ١٩٢٠

بعد ارتداء نظارتك الواقية، خذ كوبًا شفافًا صغيرًا وصب فيه نحو بوصة كاملة (٢,٥ سم) جلسرين (المقترح في «قائمة المشتريات والمحاليل»). خذ بعض الماء المصبوغ بألوان طعام وصب على الجلسرين ولنفس ارتفاع الجلسرين. ينبغي أن تلحظ طبقتين مميزتين في الكوب.

أضف عليهما طبقة من زيت الكانولا تلحظ ثلاث طبقات مختلفة. قلب الخليط، يختلط الماء الملون بالجلسرين، ويظل زيت الكانولا مستقرًّا في طبقة منفصلة عند التوقف عن التقليب، وقد يأخذ الأمر بضع دقائق حتى تنفصل الطبقات.

أضف طبقة من الصابون السائل إلى المحلول ثم شاهده وهو يترسب بين طبقة خليط الجلسرين والماء وطبقة زيت الكانولا. الآن عندما تختلط

الطبقات (قلب برفق كي لا تُحدث فقاعات) يجعل الصابون زيت الكانولا يمتزج بالجلسرين. وينتج عن ذلك خليط متجانس، وقد ينفصل الخليط مرة أخرى في نهاية الأمر ولكن هذا قد يستغرق وقتًا أطول مما لو كان المنظف غير موجود.

انفصل المحلول في أول الأمر بسبب التفاوت في قوى الجذب البينجزيئية، وهي نوع من أنواع القوى البينجزيئية، وتحدث هذه الانجذابات بين الجزيئات على عكس القوى البينجزيئية — الروابط الكيميائية — التي تربط النوى داخل الجزيء.

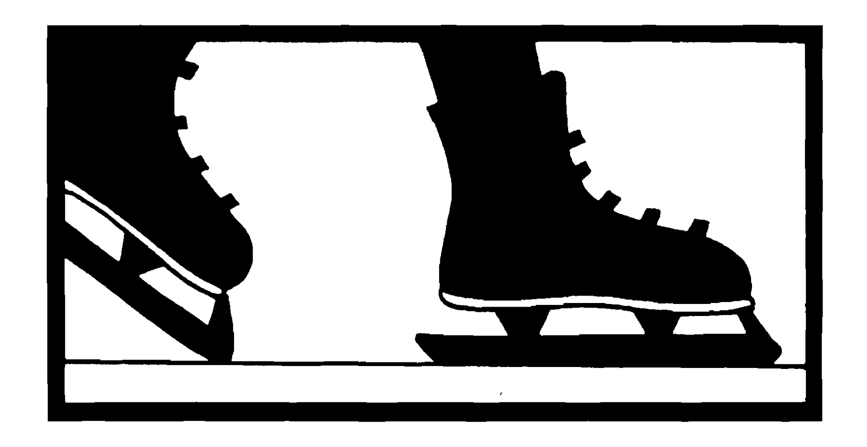
وهذا الاختلاف مثل اختلاف كتاب مجلد إزاء الأوراق الملصقة معًا، فالغرض من جلدة الكتاب أن تظل ثابتة، ولا يتيسر فصل الغراء الذي يمسك الأوراق معًا بسهولة، وعند عزل جلدة الكتاب، يكون لديك رزمة من الورق ولم يعد لديك كتاب. في حين تشبه الأوراق المُلصقة قوى الجذب البينجزيئية، ويُعنى بالأوراق الملصقة أنها ملصقة بشكل مؤقت من على السطح ويمكن بسهولة فكها ونقلها. إذا قمت بلصق مجموعة من الأوراق اللزجة في كتاب ثم أزلتها مرة أخرى فإنك لا تزال تملك كتابًا سليمًا وأوراقًا لزجة، الأوراق اللزجة تلتصق بسبب قوى الجذب البينجزيئية.

وقد تعرضنا بالفعل لتأثيرات القوى البينجزيئية في مناقشتنا حول الترسيب والذوبان، وهنا يكون لقوى الجذب البينجزيئية بين جزيئات الماء الأثر في تكوين قفص الأيونات الذي يسمح لبعض الأملاح بالذوبان في المحاليل المائية. تشترك جزيئات الجلسرين في بعض التشابهات مع الماء، إلا أن جزيئات الجلسرين على حدة لا تزال ينجذب بعضها لبعض بقوة ولا تقبل الماء بين طبقاتها إلا في وجود إثارة قوية، وحدثت الإثارة في هذه التجربة في صورة التقليب، لكن ما من قوة للتقليب استطاعت أن تذيب زيت الكانولا في الجلسرين حتى أُضيف الصابون.

يلعب الصابون دور الدبلوماسي الأعظم في القوى البينجزيئية؛ ينسجم الصابون مع الانجذابات لكل من الماء والزيت ويختبرها جيدًا، وهذا هو الأساس الذي تقوم عليه كفاءته كعنصر منظف، يتحد الصابون بالشحم والزيت وبالقاذورات ثم يتحد بالماء مما يسمح للقاذورات أن تذهب بعيدًا بالماء.

لكن تزيد أهمية الدور الذي تلعبه جزيئات أشباه الصابون وهي الجزيئات التي تنجذب إلى كل من المواد الشبه مائية والمواد الشبه زيتية، عن مجرد تنظيف البشرة: فهي المكون الرئيسي لجدران الخلايا الحية في جلد الإنسان. فقد يبدو أن القوى البينجزيئية ليست ذات أهمية نسبيًّا في بادئ الأمر عند مقارنتها بالروابط الكيميائية، لكن في حين تحدد الروابط الكيميائية تركيب جزيء واحد، فإن قوى التجاذب البينجزيئية هي التي تحدد كيفية تصرف هذا الجزيء تجاه الجزيئات الأخرى؛ فكل الحياة تدور حول تصرف الجزيئات كما لاحظنا في خصائص المواد الجزيئية والمخاليط.





الفصل الثامن

التزلق والانزلاق من منظور القوى البينجزيئية

«في بادئ الأمر وجد نفسه يحدق في اللوحة حين اجتاحه شعور بالاهتمام العلمي. مثل هذا التغير الذي كان ينبغي أن يحدث كان أمرًا لا يُصدق من وجهة نظره. على أن هذا التغيير كان حقيقة لا خيالًا. ترى هل هناك ألفة وثيقة بين الذرات الكيميائية التي شكلت نفسها على هيئة صورة ولون على هذه اللوحة وبين الروح الساكنة داخله؟»

أوسكار وايلد في روايته «The Picture of Dorian Gray» ١٨٩٠

تلعب القوى البينجزيئية دورًا هامًّا في الكيمياء؛ فالقوى البينجزيئية هي قوة الانجذاب والتنافر التي تحدث بين الذرات والجزيئات وتختلف عن الروابط الكيميائية. ويُسبب كسر الرابطة الكيميائية نشوء مادة جديدة تتفاعل على نحو مختلف مع المواد الكيميائية الأخرى، في حين لا يغير كسر قوى الجذب البينجزيئية الصيغة الكيميائية أو النشاط الكيميائي، إلا أن القوى البينجزيئية

تحدد مدى سرعة حدوث التفاعل، أو إذا كان من الممكن حدوثه في أي وقت، وتحدد القوى البينجزيئية أيضًا طبيعة المادة سواء كانت مادة سائلة أو صلبة أو غازية في درجة الحرارة المعينة — وهو ما يعد أمرًا هامًا للراغبين منا في الشرب أو الأكل أو التنفس!

وكان العلماء في أواخر القرنين التاسع عشر وأوائل القرن العشرين لا يزالون يجاهدون للوصول إلى فهم القوى البينجزيئية، لذا مما لا شك فيه أن أوسكار وايلد لم تكن لديه صورة واضحة عن القوى البينجزيئية في عقله عندما كتب عن «الألفة الوثيقة» بين الذرات الكيميائية في روايته «The Picture of Dorian Gray»، إلا أن وصفه للذرات الكيميائية بأنها «وثيقة الألفة» كان مناسبًا. وتتسم القوى البينجزيئية بالتعقيد وتتكون من انجذابات وتنافرات. وتتمثل قوى الجذب في تلك القوى التي بين جزيئات الماء والتي تسمح للماء بأن يتكثف عندما يصل إلى درجة كافية من البرودة، وقوى التنافر البينجزيئية لجزيئات الماء هي ما تجعل الماء يبدو مثل الكتل الصلبة عندما يتصادم بعضها مع بعض بقوة. (هل سبق لك أن صُدمت بعنف بموجة عارمة في البحر؟). إذا لم يكن هناك انجذابات بينجزيئية، لتبخرت أجسادنا إلى غازات، وإذا لم يكن هناك تنافرات بينجزيئية، لأصبحنا في الوحل.

سوف نبدأ بقوى التنافر بين الجزيئات، فقد شاهدنا في تجربة «الساحرة والماء» التي قدمناها من قبل، سيلًا رفيعًا من الماء ينجذب إلى الملعقة البلاستيكية ذات الشحنة الإلكتروستاتيكية المكتسبة. بالمثل، إذا نُزعت قطعة من شريط لاصق بسرعة من بكرة الشريط، فإنها ستجذب إليها أيضًا سيلًا رفيعًا من الماء. لكن إذا نُزعت قطعتان من البكرة وتدليا من بين الأصابع، فإن هاتين القطعتين ستحاولا التنافر بعيدًا إحداهما عن الأخرى، حيث إنهما اكتسبا نفس الشحنة عند إزالتهما من بكرة الشريط، وتنافرا لأن الشحنات المتشابهة تتنافر. وعندما تنجذب ذرتان أو جزيئان بعضهما لبعض، فإنهما يقتربان بعضهما من بعض جدًّا لكن ليس أكثر من حد معين. فالإلكترونات لديها بعض الاضطرابات فيما يخص الاقتراب، فعندما تقترب ذرتان أو جزيئان مختلفان أحدهما من الآخر بشدة، فإن التنافر بين سحب الإلكترونات سيفصلهما.

وتعتبر قوى الجذب بين الجزيئات أيضًا ذات طبيعة كهربائية، لكن الموقف هنا يمكن أن يكون أكثر صعوبة لأنه من الممكن أن تعتمد قوى الجذب بين

الجزيئات أكثر على شكل الجزيء، وهو الشكل الذي يخضع باستمرار لتغيرات طفيفة، وتكون الجزيئات في وضع حركة مستمرة؛ تهتز وتدور وتتطاير في كل الاتجاهات. علاوة على أن الجزيئات لا تتحرك بنفس السرعة لكنها تتحرك في مدى معين من السرعات، فليست جميعها تدور أو تهتز بنفس التردد بل في مدى معين من الترددات.

وتجعل هذه التنوعات حساب مقدار حجم قوى التجاذب بين الجزيئات في أي موقف مستحيلًا ظاهريًّا، لكن بالرغم من فرديتها، فإنها تلتصق بعضها ببعض. ويعتبر فهم هذا الالتصاق أمرًا في غاية الضرورة فيما يتعلق بفهم تصرف المواد. وكبداية لحل هذا الالتصاق الصعب سنعرف ثلاث طرق تنجذب بها الجزيئات بعضها لبعض: وهي انجذاب أيون موجب إلى أيون سالب، وانجذاب جزيء ثنائي الاستقطاب إلى جزيء ثنائي الاستقطاب، ثم الفكرة الجديدة التي سنناقشها وهي قوى التشتيت.

يعتبر انجذاب أيون موجب إلى أيون سالب تفاعلًا مباشرًا وقويًّا، وهو في حقيقة الأمر تفاعل قوي جدًّا حتى إنه يميل إلى السيطرة على الأمر عند وجود الأيونات الموجبة والسالبة. وكما أشرنا في مناقشتنا عن الترسب، عندما تجد الأيونات المتضادة بعضها بعضًا، فإنها تكون رابطة أيونية وتخرج من المحلول، لكن الانجذابات الأيونية لا تسود دائمًا؛ فجزيئات الماء تعزل الأيونات بتكوين الأقفاص حول الأيونات، وتحدث أقفاص الماء هذه نتيجة لانجذابات الجزيئات ثنائية الاستقطاب بعضها إلى بعض ولانجذابات الجزيئات ثنائية الاستقطاب إلى الأيون المفرد أيضًا.

ولكي نفهم الجزيئات ثنائية الاستقطاب على نحو أفضل، تذكر أننا شرحنا من قبل أن الإلكترونات تميل لأن تربط نفسها بالكيان ذي السالبية الكهربية الأعلى عند الارتباط، وعليه يُسَبِّب هذا توزيعًا غير متساوٍ للإلكترونات، ويكون أحد طرفي الرابطة ذا شحنة سالبة أكبر أو ذا شحنة موجبة أكبر من الطرف الآخر، وعندما يكون الموقف هكذا، نقول إن الرابطة ثنائية الاستقطاب، وعندما تكون الروابط ثنائية الاستقطاب مضادة بعضها لبعض بشكل مباشر، فإنها تتعادل بعضها مع بعض أو يلغي بعضها أثر بعض، ومع أن الروابط قد تكون ثنائية الاستقطاب فإنه لا يوجد جزيء ثنائي الاستقطاب بشكل خالص، وهذا حال ثاني أكسيد الكربون CO_2؛ ففي ثاني أكسيد الكربون تتجه كثافة

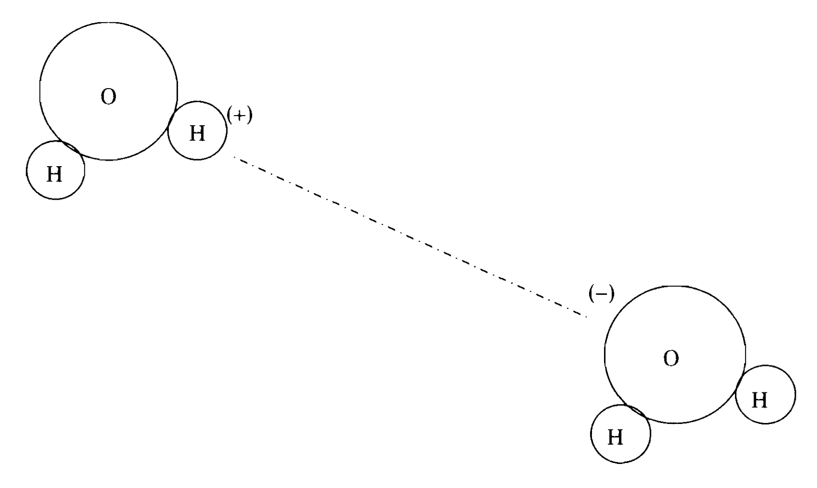
الإلكترونات نحو الأوكسجين الأكثر سالبية لكن يبقى الكربون في وسط ذرتي الأوكسجين، OCO، وعليه يكون الصراع متعادلًا.

لكن يختلف وضع الماء، فكما أوردنا من قبل، تأخذ جزيئات الماء H_2O شكل حرف V بحيث يكون الأوكسجين في منتصف الحرف والهيدروجين عند طرفيه، فيعتبر الماء جزيئًا ثنائي الاستقطاب، فالأوكسجين أكثر سالبية كهربية من الهيدروجين، من ثم تنجذب الإلكترونات نحو طرف ذرة الأوكسجين وبعيدًا عن طرف الهيدروجين، حينئذ يُقال إن للماء عزمًا قطبيًّا صافيًا، بمعنى أنه عندما تتعادل كل القوى معًا فإن أحد الطرفين يكون أكثر سالبية من الآخر.

وكما رأينا، تتفاعل الجزيئات القطبية بعضها مع بعض مثلما يتفاعل القضيب المغناطيسي، ويُطلق على التفاعل مصطلح تفاعل «ثنائي الاستقطاب». وفي التفاعل ثنائي الاستقطاب يصطف الطرف الموجب لأحد الجزيئات القطبية مع الطرف السالب لجزيء آخر مثلما ينجذب القطب الشمالي لمغناطيس إلى القطب الجنوبي لمغناطيس آخر، لكن هذه القضبان المغناطيسية تدور وتهتز وتتطاير في جميع الاتجاهات.

وقد كنا شغوفين من قبل لمعرفة الكيفية التي يساعد بها هذا التفاعل على بناء الأقفاص حول الأيونات لحفظها في المحلول، لكنه يعتبر مهمًا حتى في غياب الأيونات أيضًا. وتعمل التفاعلات ثنائية الاستقطاب على حفظ جزيئات الماء معًا في الحالة المكثفة. ويعتبر الماء ماهرًا بصورة خاصة في أدائه كمذيب وكمكثف، ويرجع ذلك إلى أن جزيئات الماء صغيرة وقادرة حتى على اجتياز نوع آخر من الانجذاب، وهو انجذاب ثنائي الاستقطاب ويسمى «الرابطة الهيدروجينية».

ولا تعتبر الرابطة الهيدروجينية رابطة كيميائية بالدرجة التي يسمح معها بحدوث تغيير في الصيغية الجزيئية، لذا يعتبر مصطلح «الرابطة الهيدروجينية» تسمية خاطئة، إلا أن الرابطة الهيدروجينية تعتبر رابطة قوية على نحو بارز. وتحدث الرابطة الهيدروجينية عندما يرتبط جزيء هيدروجين كيميائيًّا بعنصر ذي سالبية كهربية عالية مثل الأوكسجين أو الفلور أو النيتروجين، وعندما ينجذب — في انجذاب بينجزيئي — إلى عنصر ذي سالبية كهربية في جزيء آخر، ويوضح هذا الموقف في شكل ١-٨-١. وتعتبر الرابطة الهيدروجينية عاملًا في غاية الأهمية أيضًا في الطريقة التي يسلك بها الماء لأن الماء يحظى بفرصتين



شكل ١-٨-١: يُسمى الانجذاب بين طرف ذرة الهيدروجين التي تحمل شحنة موجبة ضئيلة لأحد جزيئات الماء وبين طرف ذرة الأوكسجين التي تحمل شحنة سالبة ضئيلة لجزيء آخر «الرابطة الهيدروجينية». وتعتبر الرابطة الهيدروجينية انجذابًا بين جزيئين وليس رابطة كيميائية. ويجب أن يكون الهيدروجين مرتبطًا كيميائيًّا بعنصر ذي سالبية كهربية عالية مثل الأوكسجين أو النيتروجين أو الفلور كي نحصل على الرابطة الهيدروجينية.

لتكوين الروابط الهيدروجينية، فلديه ذرتا هيدروجين ترتبطان كيميائيًّا بذرة أوكسجين في الجزيء.

ويعتبر الماء بارعًا جدًّا في تكوين الأقفاص وفي إذابة الأيونات ويُعزى ذلك إلى مقدرته على تكوين الروابط الهيدروجينية، وبسبب هذه القدرة الفائقة للماء كمذيب، يعتبر الماء هو العامل الأساسي للكثير من التفاعلات الكيميائية الرئيسية بما فيها تلك التفاعلات المسئولة عن الحياة، فالكثير من المحاليل التي نتعامل معها بصفة يومية هي إما ماء أو محاليل مائية.

ومن السوائل الأخرى الشائعة سائل الزيت، سواء كان في شكل زيت الطهي أو في شكل البنزين أو غيرهما من المنتجات البترولية، وهذه المواد لا تعتبر ماء بشكل جذري فحسب، بل إنها أيضًا لا تمتزج مع الماء جيدًا. وتُعرف الزيوت والمنتجات البترولية بمصطلح «الهيدروكربونات» لأنها تتألف في المقام الأول من هيدروجين منتظم في سلاسل مع الكربون، وتختلف قوى الجذب البينجزيئية الخاصة بهما عن تلك التي للماء.

وقد يُعتقد للوهلة الأولى أن الروابط التي بين الهيدروكربونات هي روابط قطبية أيضًا. الهيدروجين والكربون ليسا قريبين للغاية أحدهما من الآخر في الجدول الدوري، وعليه ثمة فرق كبير جدًّا بينهما في السالبية الكهربية، لكن كما ستتذكر، لا يتبع الهيدروجين الاتجاهات العامة — فهو صغير للغاية عن أن يحمل الكثير من الشحنات السالبة — من ثم يعتبر الهيدروجين بالفعل قريبًا جدًّا من الكربون في السالبية الكهربية. بالإضافة إلى أنه يمكن أن تتوزع ذرات الهيدروجين بالتساوي حول ذرة الكربون في الهيدروكربونات، لذا تميل القطبية الضئيلة التي تتمتع بها رابطة الكربون والهيدروجين إلى أن تتعادل، لكن الهيدروكربونات تكوِّن بشكل بديهي سوائل، وحتى المواد الصلبة منها تُسمى مواد شمعية، من ثم ينبغي أن يكون هناك شكل من أشكال الانجذابات البينجزيئية.

ويمكن فهم تكثف الهيدروكربونات بشكل أفضل عند إدراك أن الهيدروكربونات الكبرى هي التي تتكثف عادة بسهولة أكثر. فيكون الميثان المكون من ذرة كربون واحدة وأربع ذرات هيدروجين غاز (غاز المستنقعات على وجه الدقة) في درجة الحرارة والضغط العاديين. أما الأوكتان المكون من ثمان ذرات كربون في سلسلة وثمانية عشرة ذرة هيدروجين فيكون سائلًا في الظروف العادية، وتميل الهيدروكربونات الأطول إلى أن تكون سوائل في درجة حرارة وضغط الغرفة، حيث تنجدل السلاسل الطويلة بعضها حول بعض. ونتيجة هذا التشابك تكون السلاسل قريبة بعضها من بعض، ويؤدي هذا القرب لزيادة تأثير قوى التجاذب الضعيفة للروابط القطبية على عملية الالتصاق.

ومن ناحية أخرى، لا يشوب غاز النيتروجين N_2 أي اختلافات في السالبية الكهربية حيث ترتبط ذرتان متطابقتان معًا، ومن ثم لا تعتبر الرابطة قطبية بالفطرة، وما من فرصة للتشابك لأنه لا توجد سلاسل من النيتروجين لأنه مجرد أزواج ثنائية الذرة، إلا أنه يوجد نيتروجين سائل وهو شائع بما يكفي حيث يستخدم في إزالة النتوء. ما الذي يربط جزيئات النيتروجين معًا في النيتروجين السائل؟ إنه انجذاب يُسمى «قوى التشتيت» أو «الانجذاب القطبي المستحث» أو «قوى لندن» نسبة إلى العالم فريتز لندن الذي وصفها.

ومهما يكن الاسم المطلق عليه، فإن أصل هذا الانجذاب هو السحابة الإلكترونية الرقيقة التي تحيط بجزيء النيتروجين، لأن الإلكترونات يمكن أن

شكل ١-٨-٢: يستثير أيون الصوديوم القطبية المؤقتة في ذرة كروية الشكل بها سحابة إلكترونية. يُسبب القطب الثنائي المستحث للذرة الأولى لذرة أخرى أن تحصل على قطبية لحظية، وهذه الانجذابات القطبية المؤقتة كافية لأن تجعل الغازات النبيلة المتماثلة تتكثف عند درجات الحرارة المنخفضة.

تعتبر متنقلة في السحابة الإلكترونية، ويمكن وصفها بأنها محتشدة في أية لحظة عند طرف واحد من الجزيء أو عند الطرف الآخر. ويُطلق على هذا التوزيع المؤقت غير المتساوي للإلكترونات توزيع «القطبية المؤقتة»، إلا أنه يتصرف بنفس الطريقة التي تتصرف بها القطبية الدائمة؛ فهو ينجذب إلى أقطاب ثنائية أخرى، سواء كان بصورة دائمة أو غير دائمة. وقد تكون إعادة التوزيع لحظية، أما إذا كان هناك أيون أو جزيء دائم القطبية قريبًا، فإن هذه الأنواع قد تستحث على التصرف بقطبية لحظية أيضًا. يُوَضِّح الموقف في شكل ١-٨-٢.

ومثلما تسببت الملعقة البلاستيكية المشحونة بصورة مؤقت في تجربة «الساحرة والماء» في جعل الماء ينجذب نحوها، فإن القطبية المستحثة في أحد الأنواع تستحث القطبية في نوع آخر، ولا تعتبر قوى التشتيت مؤثرة عبر رقعة ما بنفس قدر الانجذابات القطبية، إلا أنها كافية لتعليل وجود سائل الهليوم وكذلك سائل النيتروجين وسائل الأوكسجين.

لكن لا يتكثف الهليوم تقريبًا بنفس سهولة تكثف الماء لأن الهليوم لديه نوع واحد من الانجذاب. أما الماء فلديه تراكمات من الانجذابات البينجزيئية.

ويوجد في الماء المالح تباديل التفاعلات كافة: فثمة انجذابات قطبية، وانجذابات نتيجة قوى التشتيت، وانجذابات أيون مع أيون وانجذابات قطبية مع قوى تشتيت، وأيون مع قوى تشتيت. من ثم يتسم الموقف كما لاحظنا بغاية التعقيد، أضف إلى هذا التعقيد حقيقة أن تأثير الانجذابات تقل مع المسافة التي تتغير دائمًا بسبب الأنواع المتعددة لحركة الجزيء، ويصبح الموقف ميئوسًا منه جدًّا.

من حسن الحظ ليس علينا أن نحلل بشدة كل تفاعل على حدة كي نفهم الأثر النهائي — الأثر الذي يوضح نفسه في العديد من الظواهر المعروفة مثل الاحتكاك والتماسك والالتصاق والفعل الشعري (متعلق بالخاصية الشعرية) والذوبان وفعل الصابون.

قد تكون قوى الاحتكاك أكثر القوى، التي يجب أن نتعامل معها بصفة يومية، تعقيدا وسحرًا، تنشأ قوى الاحتكاك من مصدرين — هما العوائق المادية للحركة والقوى البينجزيئية — لهذا السبب لا يمكن إبطالها تمامًا، وتتمثل العوائق المادية للحركة في الحواف بالغة الصغر والمناطق الخشنة التي يمكنك أن تجدها دائمًا إذا أمعنت النظر جيدًا. عند القيام بمحاولة لجر أحد المواد على مادة أخرى، فإن المناطق الخشنة لأحد الجوانب تمسك بالجوانب الخشنة لأحد جوانب المادة الأخرى وتسبب الاحتكاك أو مقاومة الحركة. بإزالة المناطق الخشنة يمكن التغلب على هذا الأمر لكن إلى حد معين فقط، وعندما تصبح المادة ملساء جدًّا تزداد إمكانية حدوث انجذابات بينجزيئية.

يساعد الشحم أحيانًا على تقليل الاحتكاك لأن الشحم يكون طبقة تعمل على عزل المواد المتحركة، ويسبب الاحتكاك داخل الشحم، عندما يشد في اتجاه واحد أو في الاتجاه المعاكس، في نهاية الأمر، تحلل الشحم، ولهذا السبب يجب تغيير الشحم الذي يوجد في الماكينات بصفة دورية وكذلك الزيوت ومواد التشحيم في السيارات.

ويمثل التماسك ميل الجزيئات المتشابهة لأن يلتصق بعضها ببعض، فعلى سبيل المثال، يفضل الزيت أن يظل مع الزيت، والماء مع الماء، لهذا السبب يمكنهما الانعزال عند السماح لهما بالتواجد بدون تأثير عليهما، وينتج التوتر السطحي، الذي يتضح في ارتفاع الماء الذي يأخذ الشكل المنحني على قمة الكوب أو الملعقة، عن قوى التماسك. ويظهر الماء قدرًا لا بأس به من التماسك بسبب نزوعه الشديد لتكوين روابط هيدروجينية، ومن ثم قدر لا بأس به من

ماء
O
H H

أيزوبروبيل
O
HC H
H_3C CH_3

كحول الحبوب
O
CH_2 H
H_3C

شكل ١-٨-٣: مقارنة بين تركيب الأيزوبروبيل وكحول الحبوب والماء.

التوتر السطحي. ويعد التوتر السطحي للبرك قويًّا بقدر كافٍ يسمح بإيواء عالم من المخلوقات تمشي على الماء.

أما الالتصاق، كما نرى في الشريط اللاصق، فهو ميل المواد المختلفة للالتصاق معًا، ويعد الالتصاق أحد العوامل الرئيسية المضطلعة بمسئولية موجات السطح في الأجسام المائية. ومع أن الفيزياء تنم عن عملية مقايضة غاية في التعقيد تتضمن العديد من القوى، فإن الموجات تبدأ عن طريق التصاق الماء بالرياح التي تهب فوق المياه. وتُبنى فكرة صب الزيت على المياه المضطربة، التي تستخدم غالبًا كمجاز عن أثر التهدئة، تُبنى على أسس فيزيائية وكانت تستخدم بالفعل عن طريق مركبات صيد الحيتان في الماضي، وقد نجحت نجاحا ضئيلًا. يعوق الزيت التصاق الماء بالرياح ومن ثم يمكنه أن يُسكن بعض الأمواج التي تسببها الرياح، وبالطبع لا تتأثر بذلك الموجات الكبيرة التي قد تكونت بالفعل وتحركت بقوتها الدافعة، لذا لا تستغرق الكثير من الوقت في البحث عن زجاجة زيت السلطة عندما يأتي الإعصار، كل ما عليك فعله هو أن تلوذ بالفرار.

ثمة قدر كبير من الالتصاق بين الجزيئات التي تتشابه في تركيبها، مثل الماء والأيزوبروبيل، والماء وكحول الحبوب، التي يوضح تركيبهما شكل ١-٨-٣.

والقابلية المتبادلة للذوبان هي ما تجعل الماء والكحول لا ينفصلان عادة في طبقات في كأس الكوكتيل. وقد يأخذ بعض الشراب مثل عصير الرمان

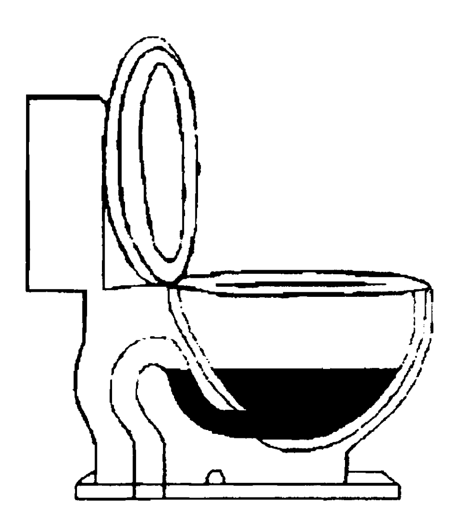
وقتًا أطول حتى يمتزج بسبب قوى الانجذاب البينجزيئية داخل الشراب ذاته. لكن إذا تركناه وقتًا كافيًا، فإنه يتوزع في نهاية الأمر في طبقات رائعة في كل المشروب، لكن كل ما يهمنا عادة هو الشرب وليس الانتظار، لذا لا نلحظ ذلك الأثر.

ويعتبر الالتصاق هو أساس الفعل الشعري أو ميل السوائل إلى أن تتجه في الاتجاه المعاكس للجاذبية. يكون لجزيئات المادة المتجهة لأعلى جاذبية أكبر نحو السطح فتتحرك إليه لأعلى ويظل باقي السائل منجذبًا لأسفل بفعل الجاذبية. تعمل أوراق الحمام بناء على فكرة الفعل الشعري، لهذا تصلح أوراق الحمام في امتصاص بعض السوائل عن غيرها. حاول أن تصب كمية من الماء وأخري من الجلسرين أو زيت الطهي على سطح ما ثم اغمس في كل منهما طرف ورقة من ورق الحمام. تتشرب قطعة الورق الماء أسرع من الزيت. ينجذب الماء بشكل أكبر إلى جزيئات ورق الحمام. تنجذب جزيئات الزيت بشكل أكبر بعضها إلى بعض.

ويعتبر الالتصاق أيضًا هو أساس القول المأثور «الأشباه تذيب الأشباه» بمعنى السوائل الشبه زيتية تذيب السوائل الشبه زيتية والسوائل الشبه مائية تذيب السوائل الشبه مائية. ويشرح القول «الأشباه تذيب الأشباه» سبب إضافة فرخ تجفيف مانع لتكون الشحنات الساكنة للماء عندما يُنقع الإناء المتسخ بمخلفات زيوت الطعام، فهذه الأفرخ تضيف طبقة رفيعة جدًّا من الزيت إلى الملابس التي يجري تجفيفها مما يمنع الاحتكاك من انتزاع إلكترونات ومن ثم توليد شحنة كهربية. ويمتزج نفس هذا الزيت غير القطبي مع المادة المجففة من الشحم غير القطبية وتعمل على إزالتها عن الوعاء. وعلى نفس المنوال، يساعد زيت الطعام على إزالة الضمادة من على الجلد دون الحاجة لتقشير الجلد. ويختلط الزيت مع المواد الشبه زيتية التي توجد في الغراء. ويشرح القول المأثور «الأشباه تذيب الأشباه» فعل الصابون أيضًا.

يتكون الصابون من سلسلة طويلة من الهيدروكربون ملحق بأحد طرفيها مجموعة تحوي الأوكسجين، ويقبل الطرف الملحق به المجموعة التي تحوي الأوكسجين الذوبان في الماء، وذلك لأن هذا الطرف قطبي وقادر على تكوين الروابط الهيدروجينية. وتقبل الهيدروكربونات الأخرى مثل الشحم على سبيل المثال الذوبان في الأطراف الهيدروكربونية للصابون وتُحمل إلى محلول الماء من

الطرف القابل للذوبان في الماء. ويعتبر نفس هذا النوع من الجزيئات، الذي يكون أحد طرفيه قابلًا للذوبان في الماء والطرف الآخر قابلًا للذوبان في الشحم، حيويًّا لتركيب الخلايا والأنواع الأخرى من الكيمياء المانحة للحياة. فعلي سبيل المثال يحتاج الجسم إلى مواد عديدة غير قطبية حتى تُنقل عن طريق الدم المكون من الماء، وتساعد الجزيئات التي تؤيد كلا العالمين — العالم القطبي والعالم غير القطبي — في عملية النقل هذه. هل لا تزال غير مُتأثر بأهمية القوى البينجزيئية؟ إذن، ضع في اعتبارك الأمر الآتي: لولا القوى البينجزيئية، لما كان هناك سيفون!



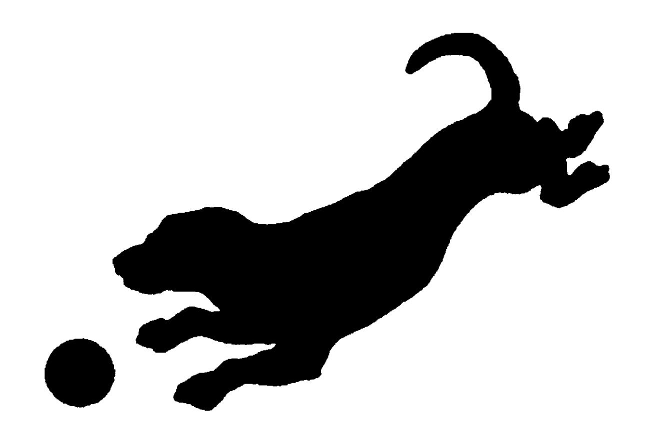
على سبيل المثال: فيزياء السيفون

بلا ريب تعتبر صناديق الطرد أحد أهم التطورات الحضارية، فهي لا تزيل المناظر البشعة والتربة الخصبة بالبكتريا الخطيرة الممكنة فحسب، بل إنها تزيلها أيضًا بطريقة حضارية؛ حيث تزيل الفضلات بسرعة وبكفاءة والروائح المرتبطة بالفضلات المختزنة أيضًا، إنها تبعدها عنا بمهارة عالية باستخدام هذا الحائط المائي. يدفع صندوق الطرد الفضلات إلى أعلى وأسفل في شلال يأخذ شكل حرف U مقلوب ثم يسد المدخل بالماء من ثم لا تجد الغازات طريقها مرة أخرى إلى الغرفة، ولا شيء من هذا كان ممكنًا لولا القوى البينجزيئية.

يبدأ فعل تدفق الماء في الحمام عندما يمتلأ الوعاء من الخزان حتى يصل مستوى الماء إلى حاجز قمة حرف U المقلوب ثم يبدأ في التساقط من الجانب الآخر. ما إن يبدأ الماء في التدفق من على جانب الحاجز، فإنه يسحب الماء المتبقي معه، مثلما تسحب السلسلة الوصلات المربوطة بها إلى أسفل إلى مستوى أقل انخفاضًا. تكون قوى الجذب البينجزيئية مع الماء السلسلة التي تسحب جزيئات الماء جزيئًا بعد الآخر، ويجب أن يبدأ هذا الفعل الطردي سريعًا من ثم يتثنى للماء أن يتدفق على الحاجز ويقوم بعمل سدادة متحركة.

ويدفع الفرق في الضغط بين الوعاء الممتلئ والأنبوبة الفارغة الماء من على القمة، لكن الجذب بين جزيئات الماء هو الذي يحفظ التدفق متحركًا باستمرار عبر الفعل الطردي لتفريغ الوعاء. ويمكن تأكيد تلك الانجذابات البينجزيئية المتضمنة في صندوق الطرد بتجربة صغيرة: هل يمكنك أن تتخيل سيفون يعمل بالرمل بدلًا من الماء؟ قد تكون هذه الرمال المستخدمة هي حلم القطة الصغيرة لتنام عليها، لكنها لن تفلح مع السيفون! فعمله يعتمد على جزيء يسحب وراءه جزيئًا آخر عندما تأتي على قمة شيء منحدر.

يعمل الماء جيدًا على إزالة الفضلات أيضًا نظرًا لأن العديد من المواد تذوب بالماء، لكن كما نعلم جميعا أن ثمة فرق بين ماء الحمام وماء الكولونيا. تعتمد خصائص المحلول على المذيب والمذاب وكم المذاب الذي تحويه، وسنتجه الآن لمناقشة هذه المعالم المهمة.



تجربة ٩:
التركيز على اللون — الكلب المملح

«لقد اعتبر نابليون، مثل كيميائي، أن كل أوروبا هي مادة لتجاربه، لكن في الوقت المعين تفاعلت هذه المادة ضده.»

فريديريك باستيت في كتابه «القانون» ١٨٧٠

ارتد نظارة الأمان الواقية. صب نصف كوب (١٢٠ مليلترًا) في كوبين من البلاستيك الشفاف، أضف ملعقة شاي بلاستيكية (٥ مليلتر) من محلول كبريتات النحاس (المعدة كما هو موصوف في «قائمة المشتريات والمحاليل») إلى أحد الكوبين ثم أضف ملعقتي شاي (١٠ مليلتر) من محلول كبريتات النحاس أيضًا إلى الكوب الآخر. قلب الكوبين ثم قارن الفرق بينهما في كثافة اللون بالنظر إلى أسفل من فوق قمة الكوب وهما موضوعان على ورقة بيضاء. نجد أن المحلول الذي يحوي ملعقة واحدة من محلول كبريتات النحاس (المحلول الأقل تركيزًا) يُظهر درجات ألوان مختلفة أفتح من تلك الألوان التي تظهر في الكوب الذي يحوي ملعقتين من محلول كبريتات النحاس. نستنتج من هذا أن اللون خاصية تتأثر بالتركيز.

تتأثر القابلية للذوبان أيضًا بالتركيز كما وجدنا في مناقشتنا لعملية الترسيب، حيث وجدنا أن مقدارًا ضئيلًا من بيكربونات الصودا يذوب في المحلول بسهولة لكن ليس أكثر من هذا المقدار يمكنه أن يذوب. الآن جرب الآتي: أعد محلول بيكربونات الصودا مشبعًا بإضافة أربع ملاعق طعام (٦٠ مليلترًا) من بيكربونات الصودا إلى كوبين (٤٨٠ مليلترًا) ماء. قلب المحلول ثم اتركه يترسب أربع دقائق على الأقل. صب برفق المحلول الذي يعلو بيكربونات الصودا غير المذابة في كوب نظيف، تأكد من أنك لم تنقل بيكربونات صودا صلبة مع المحلول. خذ كوبًا مماثلًا ونظيفًا واملأه بالماء حتى يصل إلى نفس ارتفاع الكوب الذي يحوي محلول بيكربونات الصودا المذابة في الماء. وحيث أنك تملك الآن كوبين بهما نفس الكمية من السائل، أضف إلى كل منهما ربع ملعقة شاي مستوية (١ مليلتر) ملح طعام وقلب. أضف نفس الكمية من ملح الطعام مرة أخرى وأنت تُقلب لكن بكميات صغيرة (١/٨ ملعقة شاي : نصف مليلتر) إلى كل كوب حتى يصبح أحد المحلولين غائمًا. وسيكون المحلول الغائم هو المحلول الذي يحوي بيكربونات الصودا، فهو يصبح غائمًا حيث إن ملح الطعام يزاحم بيكربونات الصودا في المحلول. أما المحلول الآخر الذي يحوي الماء والملح المضاف فقط، فينبغي أن يكون صافيًا تمامًا. وهذه التقنية التي تُسمى «فصل المذاب باستخدام الملح» تستخدم في الصناعة لنقل المواد من وإلى المحلول، وكانت تستخدم هذه التقنية أيضًا في الماضي في إعداد الصابون الصلب، فقد كان الصابون يخرج عنوة من المحلول بإضافة كميات كبيرة من الملح. ويمكن توضيح هذا الفعل عن طريق إضافة طبقة سمكها من ثمن إلى ربع بوصة من الصابون السائل في كوب ثم انثر ملح الطعام عليه، فتترسب في دقائق معدودة مادة صلبة لزجة هلامية.



الفصل التاسع

التركيز على كونهما وحدهما معًا

«لم أر عليه أي أثر للرعب الذي انتابني أنا نفسي آنذاك ... لكن كان يبدو على وجهه أمارات الهدوء ورباطة الجأش المتلهفة التي للكيميائي الذي يرى البلورات تتساقط من محلوله المشبع.»

السير أرثر كونان «وادي الخوف» ١٩١٥

الكيمياء هي التغير — فالمعدن يتحول إلى فلز والزبدة إلى خبز والحامض إلى ملح — والشيء الرائع في هذا التغير هو أن هذه الكيمياء تحدث في المحاليل: في البرك والخلايا والمحيطات والصلصة وحتى في الصهارة والمخاليط. وتعتبر المحاليل مخاليط متماثلة، مثل الخليط المتماثل المكون من الملح والماء الذي نسميه المحلول الملحي. تساعد المحاليل على إحداث التفاعلات الكيميائية لأنها تمنح الجزيئات الفرصة لكي تتقابل معًا وتوفر الحركة للتفاعل كي يحدث. والأقراص التي توضع في الماء كي تقدم شرابًا فوارًا تستطيع عمل الفوران لأنها تحتوي على حامض الستريك وبيكربونات الصودا. لكن مع أن هذه الأقراص تحتوي على حامض الستريك وبيكربونات الصودا قبل إلقائها في الماء، فإن

الأقراص الجافة لا تحدث فوارنًا، وهي لن تفور حتى توضع مكوناتها في محلول. يحظى كل من الحامض والقاعدة بحرية الحركة في المحلول من ثم يمكنه أن يدخل في التفاعل. تقدم المحاليل ما يحتاجه التفاعل الكيميائي: الحركة والفرصة.

ولطالما أدرك القائمون على الصناعات التجارية والفكرية الناجحة الحاجة إلى الحركة والفرصة للحصول على تفاعل فعال بين المتخصصين، ففي المؤتمرات يكون هناك تركيز أعلى من الأشخاص ذوي الأذهان المتشابهة. لكن كما يعلم كل منظم ناجح للمؤتمرات فإن التفاعل الحقيقي بين الناس لا يحدث عندما يجلس كل فرد في مقعده منصتًا إلى ما يقدمه الآخرون، لكنه يحدث عند تذوق الخمور والجبن، عندما تكون لديهم حرية الحركة والسعي بعضهم نحو بعض. والمحلول هو الند الكيميائي للمؤتمر: فهو يمثل تركيز المتفاعلات مع منحها حرية الحركة التي تحتاجها للامتزاج. ويعي الكيميائي مثله مثل منظم المؤتمر أهمية التحكم في التركيز والتنسيق فيما بين المتفاعلات عند تصميم التفاعلات.

ومع أن محاليل الماء، أو المحاليل المائية كما يعرفها الكيميائيون، هي تقريبًا أكثر المحاليل شيوعًا، فثمة أنواع محاليل عديدة أخرى. فثمة محاليل صلبة مثل السبائك المعدنية، مع أنه ليست كل السبائك مكونة من أمزجة متجانسة تمامًا. تتكون سبيكة البرونز من النحاس والقصدير، وسبيكة النحاس الأصفر من النحاس والخارصين وسبيكة الصلب من الحديد والكربون.

وثمة محاليل في الحالة الغازية أيضًا، فالهواء الذي نتنفسه هو محلول مكون من غازات عديدة. يتوافر النيتروجين بأكبر نسبة فهو يبلغ نحو ٧٠٪، لكن يوجد الأوكسجين مختلطًا به أيضًا وكذا الأرجون وثاني أكسيد الكربون والماء عادة. تتأرجح نسبة الماء في الهواء من لا شيء إلى ١٠٠٪ رطوبة، في حين تظل نسبة النيتروجين والأوكسجين والأرجون ثابتة تمامًا. وقد يعتبر وجود الأرجون في محلول الغازات التي نتنفسها للوهلة الأولى أمرًا مفاجئًا، لكن عند استرجاع مناقشتنا حول الجدول الدوري نجد أن العناصر الأخف هي تلك العناصر التي نتجت في الكون للوهلة الأولي في عصيدة الكون التي بزغ منها كوكبنا. وقد احتجزت العناصر المتفاعلة في مركبات، وتطايرت العناصر غير المتفاعلة. معظم الهليوم والنيون كانا خفيفين على نحو كافٍ لدرجة سمحت

بفرارهما من جو الأرض مما أدى إلى ترك الأرجون ليمثل العناصر النبيلة. تشتمل بعض المحاليل الغازية الأخرى على بيكربونات الصودا، وهو محلول الغاز (ثاني أكسيد الكربون) في الماء، وماء البرك هو محلول يحوي الأوكسجين وهو الذي تتنفسه الأسماك.

ويعتمد الجسم على قابلية ذوبان الغازات في الدم، التي بدورها تعتمد على ضغط هذا الغاز وليس غيره، حتى يتثنى له القيام بعمليات الأيض. من ثم تعتمد قابلية الأوكسجين للذوبان في الدم على ضغط الأوكسجين في الهواء المُستنشق، وتعتمد قابلية الأوكسجين على الذوبان في الخلايا علي ضغط الأوكسجين داخل الخلايا. ولأن عملية الأيض تحدث داخل الخلايا، فإن الأوكسجين يُستهلك ويُنتج ثاني أكسيد الكربون. وعندما يصل الدم الغني بالأوكسجين إلى الخلية يعبر الأوكسجين من الدم — حيث الضغط المرتفع نسبيًّا — إلى الخلية، حيث الضغط المنخفض نسبيًّا. ويعبر ثاني أكسيد الكربون من الخلية حيث يرتفع ضغطه إلى الدم حيث ينخفض ضغطه.

ولأن النيتروجين دائمًا ما يتواجد أيضًا في الهواء الذي نستنشقه، ثمة بعض الكميات من النيتروجين الذائب دائمًا في دمائنا. يحتاج الغواصون الذين يغوصون في أغوار المحيطات إلى أنابيب من الهواء المضغوط لتزويدهم بهواء التنفس لأن ضغط المحيط يضغط على الرئتين. ويجب أن يكون الضغط داخل أنبوبة الأوكسجين أكبر من الضغط الخارجي إذا كان عليه أن يدخل إلى الرئتين. إذا ملئت الأنابيب بالهواء الجوي العادي، فإن الدم المعاد تخزينه داخل الرئتين سيكون عرضة لنيتروجين ذي ضغط أعلى، وسيكون ثمة الكثير من النيتروجين الذائب في الدم. ولا يسبب النيتروجين الزائد بالدم بالضرورة مشكلة ما لم يخرج الغواص بسرعة من الماء. أما إذا خرج الغواص من الماء بسرعة، فإن النيتروجين الزائد الذائب في الدم يبدأ في الخروج من المحلول ويمكنه أن يكون الفقاعات قبل أن يحظى الجسم بالفرصة لطرده. وتسبب هذه الحالة ألم شديدًا جدًّا حتى إن المصابين به يتوقفون عن الحركة تمامًا من شدة الألم، لذا يعُرف هذا المرض بشلل الغواص.

ويعتبر الإجراء الوقائي المُستخدم غالبًا هو استبدال النيتروجين بالهليوم في خليط هواء التنفس. لا يقبل الهليوم الذوبان في الدم بنفس قدر النيتروجين وعليه لا يسبب نفس المشكلة. وفي ملاحظة مختلفة تمام الاختلاف، نجد أن

الصوت الحاد الذي يصيب الصوت يكون نتيجة لتكثف الهليوم بدلًا من الهواء الذي يمر عبر الحنجرة. ولا يسفر أي تسمم عن الهليوم كما يُعتقد أحيانًا، لكن الذي يمثل الخطر هو استنشاق هليوم نقي، فالفرد الذي يستنشق الهليوم النقي لا يستنشق أوكسجين ومن ثم يفقد الوعي بسبب نقص الأوكسجين.

تنقسم المحاليل إلى شقين: المذيب والمذاب. والمذيب هو المكون الذي يوجد بكثرة، ويمثل المذاب المكون الذي يكون أقل. تعد المادة الأساسية في المحلول الملحي هي الماء الذي يمثل المذيب والملح هو المذاب، ويمكن فهم أهمية التركيز كخاصية للمحاليل بالنظر في المحلول الملحي. يمكن استخدام محلول ملحي مركز لغسل الفم، لكن عند غسل العين، لا يستخدم إلا المحلول المخفف، وأنت لا تريد أن تخلط بين الأمرين.

ثمة بعض المقاييس الشائعة الخاصة بالتركيز التي وجدت طريقها في الاستخدام اليومي. ومقياس تركيز الإيثانول في المحاليل في المشروبات الكحولية يسمى «القوة الكحولية للمشروب»، ويُعبر عن القوة الكحولية برقم يعادل ضعفين من نسبة الإيثانول الموجود في المحلول، حجم إلى حجم. فعلى سبيل المثال، المقياس الذي يساوي ٧٦ في الويسكي هو نسبة ٣٨ كحول. وقد بينت الأساطير هذا الأمر، حيث إن هذا المصطلح نشأ عن حقيقة أن الخليط الذي يحوي نسبة ٥٠ من الإيثانول (١٠٠ قوة كحولية) وأن الماء سيحرقها مبرهنًا على أنه كحول جيد. وتتمتع المحاليل التي تحوي الماء والكحول بالخاصية المميزة وهي أن أحجامها لا تضاف في كل النسب. فعلى سبيل المثال، لا تكوِّن الكميات المتساوية من الإيزوبروبيل والماء المختلطان معًا محلولًا ضعف الكمية الأصلية — كنتيجة لقوى التجاذب البينجزيئية تلك التي ناقشناها في الفصل السابق. يحوي الكحول مجموعة هيدروكسيد OH كجزء من جزيء الكحول نفسه، وتنجذب مجموعة الهيدروكسيد هذه إلى الماء H_2O. ويُتوقع أن المجموعة المختلطة من الرجال والنساء العزاب المختلطين أن يقترب بعضهم من بعض عند الوقوف معًا أكثر من تلك المجموعة المنفصلة وذلك بسبب تفاعلات الانجذاب.

من الوسائل الأخرى الشائعة لقياس التركيز الرطوبة. والرطوبة هي مقياس مقدار الماء الموجود في الهواء، أما الرطوبة النسبية فهي مقياس كمية الماء الموجود حاليًّا في الهواء مقارنة بالكمية العظمى من الماء التي يقدر أن

يستوعبها الهواء في نفس درجة الحرارة وتحت نفس الضغط. عندما يتعلق الأمر بمحاليل المواد الصلبة في الماء مثل محلول الملح أو محلول السكر، يُقدر التركيز بالجرام لكل مليلتر، كما هو الحال مع معظم الأدوية الشائعة. مع ذلك عندما يتعلق الأمر بالتفاعلات الكيميائية، فمن المنطقي أكثر أن يُقدر الأمر بالجزيئات بدلًا من الجرامات لكل مليلتر. ولتفهم لماذا، انظر معي في الجملتين الآتيتين: أيهما أكثر فائدة عند حساب حاجة فريق العمل إذا كان يجب حفظ نسبة المدرس للتلاميذ عند معدل عشرين إلى واحد؟
هل سنقول:

هناك ١١٧٥٦ كيلوجرامًا من التلاميذ في فصل المرحلة الأولى الجديد.

أم سنقول:

هناك ١٩٠ تلميذًا في فصل المرحلة الأولى الجديد.

عادة يصف الكيميائيون تركيز المحاليل عن طريق قياس عدد الجزيئات لكل حجم معين بدلًا من عدد الجرامات لكل حجم معين، ذلك لأن التفاعلات تحدث عندما يتفاعل جزيء واحد مع جزيء واحد وليس عندما يتفاعل جرام مع جرام. تكمن الصعوبة في أن الجزيئات غاية في الصغر، ويحتاج الأمر إلى عدد كبير جدًّا منها لتكوين كمية قابلة للقياس. فعلى سبيل المثال، يحتاج الأمر نحو تريليون تريليون من جزيئات الماء في الحالة السائلة لملء وعاء سعته ٢٤٠ مليلترًا (كوب واحد). وعليه، من السهل جدًّا التحدث عن مجموعات من الجزيئات بدلًا من التحدث عن الجزيئات المفردة. والاسم الذي اتفق العلماء على إطلاقه علي مجموعات الجزيئات هو المول، ويشبه المول الدستة، مع الفارق.

تدل الدستة على عدد من الأشياء، مثل اثنتي عشرة بيضة علي سبيل المثال. يشير الإجمالي إلى عدد الأشياء، فمثلًا ١٤٤ شيء. كذلك يشير المول إلى عدد من الأشياء: يعادل المول ٦٫٠٢٣ مئة مليار تريليون من الأشياء، وهو غالبًا رقم ضخم يصعب تخيله.

فعلى سبيل المثال، إذا كان هناك جزيئات كبيرة كبر الرخام، عندئذ يغطي المول مساحة أرض الولايات المتحدة إلى عمق أربعة أمتار (ما يقرب من ارتفاع الطابق الأول من منزل). وتعتبر الخلايا التي توجد في جسم الإنسان غاية

في الصغر على أن نراها بدون ميكروسكوب، وغاية في الصغر جدًّا حتى إن ما يقرب من مئة تريليون من الخلايا تحتشد في جسم إنسان واحد. لكن إن تجمع مول من الخلايا، تحتاج ستة مليار فرد أي تعداد الكرة الأرضية بأكملها عام ١٩٩٥، إنه لعدد كبير جدًّا!

ومن الضروري جدًّا أن نستخدم هذه الوسيلة الكبيرة عندما يتعلق الأمر بالجزيئات لأن الجزيئات غاية في الصغر. يعادل مول البيض ٦,٠٢٣ مئة مليار تريليون بيضة، وهو ما يكفي لعمل أومليت ضخم جدًّا، لكنه بالفعل كمية غاية في الصغر للجزيئات. يوازي مول من السكروز نفس الكمية تقريبًا من حصة من مشروب المياه الغازية المكربنة. ويعادل مول من المادة الصلبة ما يملأ قبضة اليد، ويقارب مول من الغاز ست جالونات (٢٢ لتر) تحت الظروف العادية من درجة الحرارة والضغط (أكثر قليلًا من ملء دلو وأقل قليلًا من البوشل؛ مكيال للحبوب يعادل نحو ٣٢ جالون). وفي الملحق، تُفسر الكتلة المفترضة لكل عنصر على أنها وحدات الكتلة الذرية لكل ذرة (و. ك. ذ. لكل ذرة) أو جرامات لكل مول. ولا يعتبر حدوث هذا التزامن مجرد حظ، وقد اختيرت وحدة الكتلة الذرية الهائلة هذه، لذا ترتبط وحدة الكتلة الذرية لكل جسيم مع الجرامات لكل مول.

وقد ذكرنا من قبل أن وسيلة قياس الحامضية الشائعة (pH) وهي وسيلة قياس تركيز أيونات الهيدرونيوم (H_3O^+، العامل الحامضي) في المحلول. والآن يمكننا أن نكون أكثر تحديدًا: فالمحلول الذي يحوي عشر مول (٠,١) من أيونات الهيدرونيوم لكل لتر يكون الــ pH له ١. والمحلول الذي يحوي واحدًا من مئة مول (٠,٠١) من أيونات الهيدرونيوم لكل لتر يكون pH له ٢. وكل مرة يقل تركيز أيونات الهيدرونيوم بمضاعفات العدد عشرة، يزداد pH بوحدة واحدة.

ثمة وسيلة قياس أخرى ترتبط بالتركيز هي الكثافة، والكثافة مقياس إجمالي كتلة المادة في وحدة الأحجام. وفيما يتعلق بالمحاليل التي تكون فيها التفاعلات الكيميائية مستمرة، فيمكن أن يعتبر قياس الكثافة طريقة لقياس سير التفاعل. ويجب أن تُحفظ الكتلة في أثناء التفاعل، إلا أن الحجم الذي تشغله الكتلة من الممكن أن يتغير كثيرًا بسبب إعادة ترتيب الجزيئات والقوى البينجزيئية، وتتضح مثل هذه التغييرات الحادثة في الكثافة في قوام الماء، وفي الجسم البشري وفي قوام الأشياء الأخرى الممتعة: قوام الخمر.



على سبيل المثال: ما القوام، ما النكهة، ما الكيمياء

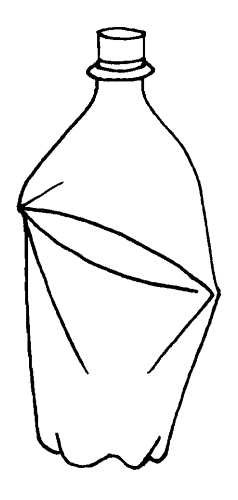
تتدخل الكيمياء في عمل الخمر في مستويات عديدة، على سبيل المثال، يعتمد صناع الخمور ومتذوقوها على تركيز الخواص في عمل ووصف ما يقال عليه بالمنتج اللذيذ أو حتى الجريء والمُغري.

يستخدم محترفو تذوق الخمور عددًا من المصطلحات الشيقة مثل: مفلن (فيه طعم الفلين أو رائحته)، مزبد (محتوٍ على زبدة)، يحتاج للمزيد من المضغ، طازج، فاكهي (به طعم الفاكهة)، معسل، مختمر، ممتلئ القوام، مركب، لاذع، خفيف، منعش، بطعم المكسرات، متمتع بجميع الخصائص، مليء بالنكهة، لوصف خصائص الخمور التي تتضمن النكهة، والشذى، وحاسة الشم، وكونها ذا رائحة نفاذة زامة للأنسجة، واللمسات الأخيرة، والقوام. وهذه الخاصية الأخيرة هي التي ترتبط بموضوع هذا الفصل: التركيز. ويمثل القوام كثافة الخمر الذي نتذوقه في الفم والذي يعتمد في جانب كبير منه على كمية الكحول في الخمر. وتمثل الكثافة المرتبطة بالتركيز جانبًا حيويًّا في عملية صنع الخمر أيضًا.

ويعتبر «الخمر الفطير» (عصير العنب قبل التخمر وأثناءه) بداية الخليط، حيث يكون عصير العنب والفاكهة المعصورة جاهزة لعملية التخمر، وعملية التخمر هي العملية التي تستهلك فيها خميرة معينة السكر وتنتج الإيثانول (الكحول) وثاني أكسيد الكربون. يؤدي القليل جدًّا من السكر إلى القليل جدًّا من الكحول، ويغير الكثير جدًّا من السكر طبيعة الخمر. ويمكن استخدام

الكثافة المقاسة للخمر الفطير لتقدير محتوى السكر. وعن طريق معرفة محتوى السكر المقاس يمكن التنبؤ بمحتوى الكحول في المنتج النهائي، وعلى هذا الأساس يمكن تحديد إذا كان الخليط في حاجة إلى إضافة المزيد من السكر، حيث إن السكر يعتبر أحد المتفاعلات ويُستهلك، وتُقاس الكثافة أيضًا في أثناء عملية التخمر لتتبع كيفية حدوث عملية التخمر الجيدة.

وكما رأينا، القياس والتحكم في التركيز لهما أهمية بالغة في الكيمياء والخمر والمؤتمرات الجيدة، إلا أن الحالة السائلة لا تعتبر هي الحالة الوحيدة التي بُنيت عليها الكيمياء. فالحالة الغازية تعزز كيمياء شيقة ومهمّة أيضًا، ثمة فقاعات في الكيمياء، وثمة كيمياء في الفقاعات، في البالون وفي الهواء الذي نستنشقه.



تجربة ١٠: قرمشة زجاجة المياه الغازية

«يخلق الكبير جوًّا يؤثر تأثيرًا سلبيًّا على الصغير ... فهو يشبه الكاشف الكيميائي، فأحد أيام هذا الجو مثل إحدى قطرات هذا الكاشف سوف تؤثر جدًّا على المناظر وتزيل لونها ... حتى إنها ستظل بعد ذلك باهتة للأبد. يوم منها لعقل غير مختبر كجسم لم يتناول الأفيون من قبل. ونقشٍ يُحفر في النفس الذي إذا أُشبع يفضي إلى أحلام للأبد ... حتى الموت وحتى يذيب الانحلال قواهم.»

تيودور دريزر في كتابه «الأخت كاري» ١٩٠٠

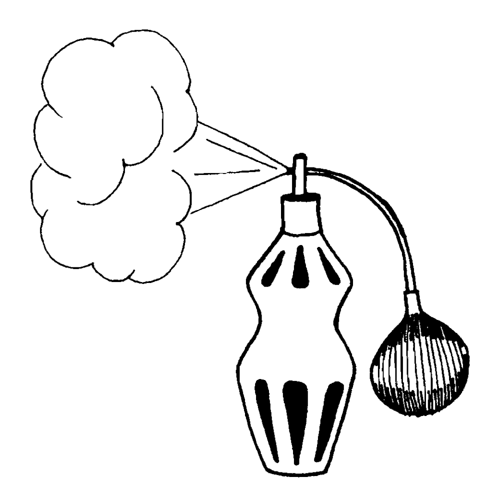
نحن عامة لا نعي الأجواء التي تحيط بنا، مثلما لا تعي السمكة البحر. إلا أننا نسبح في محيط من الهواء ونُذّكر بذلك من وقت إلى آخر عندما تسقط شجرة من جرّاء عاصفة أو يسوي إعصار مدينة بالأرض. وهذه التجربة التي نحن بصددها هي تذكار فعال أيضًا على وجود قوة الضغط الجوي.

جهز حوضًا مملوءًا بماء مُثلج إلى آخره. املأ زجاجة مياه غازية بلاستيكية بماء ساخن من الصنبور واترك الماء الساخن بها لبضع ثوانٍ. فرغها من الماء

ثم بسرعة غطها. ضع الزجاجة المغطاة في الماء البارد وانتظر ثواني قليلة، تجد أن زجاجة المياه الغازية تنفجر وتتفتت على نحو قوي.

يسبب تسخين الغاز تمدده ويقلل تبريده من الضغط الذي يبذله، ويعمل ماء الصنبور الساخن على تسخين جوانب الزجاجة التي بدورها تسخن الهواء بالداخل. وعندما يُحكم غلق الزجاجة بعد تسخينها بالماء الساخن، فإن الهواء المحتجز بالداخل يكون هواءً دافئًا. وعندما تُغمس الزجاجة في الماء البارد فإن الهواء بالغاز بالداخل يبرد باذلًا ضغطًا على الجوانب الداخلية أقل من الضغط الذي يبذله الجو من الخارج على الجوانب الخارجية. عندئذ يضغط الجو على جوانب الزجاجة وتكون النتيجة زجاجة صودا مُحطمة.

وللمزيد من الخصائص عن الحالة الغازية — وما يحدث في زجاجات الصودا — تابع معنا.



الفصل العاشر

إنه غاز

«الكيمياء يا مدام فرانسوا ... تركيب الأسمدة، وتخمير السوائل، وتحليل الغازات وتأثير الأبخرة العفنة التي تخرج من المستنقعات — ما أضعه لك، هو كل هذا لكن الكيمياء نقية وبسيطة؟»

جوستاف فلوبير في روايته «مدام بوفاري» ١٨٥٧

لقد صاغ جوهانز فان هلمونت كلمة «غاز» في منتصف القرن السابع عشر، ويُحتمل أنها مُشتقة من كلمة chaos.[١] وإذا كان قد بني اختياره على كلمة chaos، فإن هذا انتقاء مفعم بالبصيرة، لأسباب كثيرة أكثر من تلك التي عرفها فان هلمونت. ففي أيام فان هلمونت اعتقد معظم فلاسفة الطبيعة أن الهواء مكون من عنصر واحد، واعتبره الكثيرون سائلًا مسترسل التدفق. الآن نحن نعلم أن الهواء يتكون من ثلاثة عناصر على الأقل — وهما غاز النيتروجين وغاز الأوكسجين وغاز الأرجون — بالإضافة إلى مركبات عديدة مثل الماء وثاني أكسيد الكربون المختلطان معًا، ونعلم أيضًا أن الهواء يتكون من جزيئات وذرات تطن وتندفع بسرعات هائلة تصدم كل ما تقابله وتطيح

به. من ثم كان هلمونت محقًّا بشأن أمر واحد، ألا وهو أن الجزيئات عندما تكون في الحالة الغازية تقوم برقصات متواصلة وعنيفة وعشوائية، وبسبب كل هذه الجلبة العشوائية الرائعة التي تتسم بها جزيئات الغازات، تتمتع الغازات بخصائصها.

وحتى يتثنى لنا أن نصف تصرف عينة من الغازات، نحتاج إلى أربعة وصفات رئيسية: درجة حرارة الغاز، وضغط الغاز، والحيز الذي يشغله الغاز (الحجم)، وكم الغاز، وغالبًا يُعَبَّر عنها بعدد المولات أيًّا كان الغاز الموجود. على سبيل المثال، إذا قلنا إن لدينا مول من غاز معين عند درجة حرارة ٢٥° سيليزية (٧٧° فهرنهايتية) وكان حجم الغاز ٢٢,٤ لتر (ما يقرب من ستة جالونات) تحت الضغط المحيط، فإنه سيكون لديك كل المعلومات التي تحتاجها للتنبؤ بتصرف هذا الغاز الذي يغيرها الضغط أو درجة الحرارة. وتعتبر هذه المعلومات ضرورية للمهندسين الكيميائيين والغواصين الذي يتعمقون في أغوار البحار وحتى لصناع الخمور، فأحد نواتج عملية التخمر هو غاز ثاني أكسيد الكربون وإذا لم يُتحكم في هذا الغاز على نحو جيد، فإن السدادة التي تندفع تكون غير مقصودة.

يتمتع الغاز بضغط ملحوظ، وقد حطم ضغط الغازات التي تحيط بالأرض، أي الغلاف الجوي، زجاجة الصودا. لم يتثن تحطيم زجاجة الصودا عندما كانت ممتلئة، لكنها تحطمت بسهولة عندما خُفف ضغط الهواء في الداخل. إذن لماذا لا نتحطم نحن عندما نقوم بعملية الزفير أو بسبب هذا الأمر، لماذا يكون لدينا المقدرة على الانتصاب؟ السبب هو أن ضغط الهواء يضغط علينا في كل الجوانب بالتساوي، فإذا كان الضغط على قمة رءوسنا فقط، فعندئذ تكون لدينا مشكلة بالفعل. يمكن تطبيق نفس المبدأ على أنبوبة معجون الأسنان، حيث لا يمكنك الحصول على المعجون إلا عندما تضغط على منتصف أو قاع الأنبوبة، أما إذا ضغطت بالتساوي على فتحة الأنبوبة وقاعها، فإن معجون الأسنان يظل داخل الأنبوبة.

ويمكن شرح منشأ الضغط الذي يقدمه الغاز، وكذلك التفاعل بين المتغيرات التي هي الضغط ودرجة الحرارة والحجم وعدد المولات، عن طريق نظرية تُسمى «النظرية الحركية لجزيئات الغازات»، والافتراض الأساسي الذي تقوم عليه هذه النظرية هو أن الغازات تتألف من جسيمات منفردة (ومن ثم

هي جزيئات) ويكون لهذه الجسيمات حركة ثابتة (مثل تلك التي في الفنون المتحركة). كيف يتثنى لنا فهمًا أفضل لهذه النظرية التي تشرح خصائص الغازات إذا جرى مقارنة خصائص الغازات بخصائص مجموعة أخرى من الجسيمات في حالة حركة دائمة: مثل سرب من البعوض مثلًا.

الضغط هو القوى المتراكمة لجزيئات الغاز التي تصيب منطقة ما، تمامًا مثلما يضرب سرب من البعوض جوانب وعاء على نحو عشوائي ضاغطًا على هذه الجوانب، وإذا كان الوعاء أصغر، عندئذ سيصاحب الأمر زيادة في عدد التصادمات الحادثة بين البعوض والوعاء وزيادة في ضغط البعوض، وبطريقة مماثلة، لكون جميع الأشياء الأخرى متساوية (بمعنى، درجة الحرارة وكم الغاز)، فإن الحجم سيؤثر مباشرة على ضغط عينة من الغاز. ويمكن إثبات هذا التأثير عن طريق الحقنة الشرجية المذكورة في «قائمة المشتريات والمحاليل»، فعند استخدام الحقنة دون الإبرة المتصلة بها، يمكنك أن تسحب عينة من الهواء إلى داخل الحقنة، ثم ضع إصبعك عند نهاية الفتحة التي عادة توصل بها الإبرة، وبالضغط على المكبس سيقل الحجم، في بادئ الأمر سيسهل ضغط الغاز، لكن الأمر سيصبح أكثر صعوبة فيما بعد، تُعزى هذه الصعوبة إلى أن حقيقة أن الضغط والحجم يرتبطان معًا بعلاقة عكسية: حيث كلما قل الحجم زاد الضغط، وتُعرف هذه العلاقة بـ«قانون بويل».[٢]

لم يكتشف روبرت بويلي — فيلسوف الطبيعة الإنجليزي في القرن السابع عشر — العلاقة التي أصبحت معروفة فيما بعد باسمه فقط، بل إن أبحاثه كانت تؤكد الملاحظات التي أوردها الآخرون، إلا أنه أدرك المغزى من هذه الحقائق ووضعها بحماس أمام ناظري زملائه العلماء، وكان حماسه مبررًا تمامًا، فلقد أزاح بهذه العلاقة الكيمياء من مملكة السحر، مؤسسًا إياها كعلم كمي: أي علم معادلات ومقاييس وقوانين مثل قوانين الشركات وقوانين الرياضيات.

في حقيقة الأمر يبدو أن أبطال الحالة الغازية كافة تتمتع بحظ وافر. فالشخص الذي طالما تردد اسمه، على الأقل في العالم المتحدث بالإنجليزية، لكونه مرتبطًا بملكية مهمة أخرى مرتبطة بالغازات — وهي العلاقة بين درجة الحرارة والحجم — كان قائد المنطاد الذي يعمل بالهواء الساخن، جاك تشارلز.[٣] فلقد عُرفت هذه العلاقة بـ«قانون جاك تشارلز»، لكن تشارلز الذي

كانت دراسته في مجال الغازات في القرن التاسع عشر، امتاز بكونه قائد منطاد أكثر منه تجريبيًّا، ولم يستطع تشارلز أن يصل من النتائج التي استخلصها إلى أي نتائج محددة فيما يخص العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته. ويرجع سبب ارتباط القانون باسم تشارلز إلى أن الشخص الذي كتب تاريخ الكتب كان إنجليزيًّا ورأى أن اسم تشارلز يبدو اسمًا إنجليزيًّا جيدًا، أما الشخص الذي وصف العلاقة بين درجة الحرارة والحجم بالفعل فهو جوزيف لويس جاي لوساك، الذي وُلد أيضًا أواخر القرن الثامن عشر.[٤]

وكان جاي لوساك قائد منطاد يعمل بالهواء الساخن أيضًا. وفي إحدى المرات، تخلص من كرسي وبعض المعدات ليخفف من حمل البالون حتى يتمكن من التحليق إلى ارتفاع أعلى، وقد اكتشف فيما بعد أن الفلاحين المذهولين أسفل شاهدوا الكرسي يسقط من السماء، وبسبب عدم وجود أي تفسير، كان عليهم أن يُرجعوا الأمر إلى فعل إلهي، كنوع من المزاح. وقد أثبت لوساك عن طريق تجارب عملية عديدة أن حجم الغاز يتمدد بارتفاع درجات الحرارة وهو يتمدد بنسب طردية: بمعنى أنه إذا تضاعفت درجة الحرارة يتضاعف معها الحجم، وإذا قلت درجة الحرارة إلى المنتصف يقل الحجم إلى منتصفه، وهو أمر معقول حيث إن قائد المنطاد الذي يعمل بالهواء الساخن هو الشخص الجدير بوصف هذه العلاقة لأن هذا هو المبدأ الفعال في عمل البالون الذي يعمل بالهواء الساخن، يتمدد الهواء الساخن، بمعنى أن نفس الكتلة تشغل حيزًا أكبر من الفراغ الذي كانت تشغله، وعليه تقل الكثافة، وترتفع الفقاعات الموجودة في الهواء الساخن الذي يوجد في المنطاد في الغلاف الجوي شأنها في ذلك شأن الفقاعات التي توجد في الماء المغلي.

ويصعب إثبات تمدد الغازات وانكماشها في مدى مناسب من درجات الحرارة، أي في المدى من نقطة تجمد الماء إلى نقطة غليان الماء. إلا أن لوساك رأى أن العلاقة المصاحبة يمكن قياسها؛ حقيقة أن الضغط يتزايد مع الحرارة. قس ضغط إطار سيارتك في الصباح قبل القيادة إلى العمل ثم بعد الوصول إلى العمل، ستجد أن ارتفاع درجة حرارة الإطار (بسبب الاحتكاك بالطريق وبسبب الفرملة) قد سبب ارتفاعًا في الضغط. تعمل محركات الديزل بنفس المبدأ، لكنها تستغل الحجم لضبط درجات الحرارة والهواء مضغوط، لذا تستخدم حرارة الهواء المضغوط بشكل كبير في إشعال رذاذ الوقود.

ويمكن شرح الضغط المتزايد للغاز عند تسخينه في ضوء النظرية الحركية للجزيئات أيضًا، حيث تجعل الطاقة المضافة إلى عينة غاز الجزيئات تدور بطريقة أسرع، والدوران بشكل أسرع يسبب حدوث تصادمات متوالية بشكل أكثر وأعنف مع جوانب الحاوية مما يسبب ارتفاع الضغط. ويعتبر التشبيه الذي استخدمناه من قبل بخصوص البعوض أقل دقة هنا، لكن ما من تشبيه كامل، يمكنك أن تتخيل أن البعوض يلف بشكل أسرع في مناخ دافئ، وإذا كان يلف في وعاء فإنه كثيرًا ما سيرتطم بالوعاء.

ولأن سلوك الغازات يتوقف على درجة الحرارة، وجد علماء القرن التاسع عشر أنفسهم في حاجة إلى مقياس لدرجة الحرارة على ألا يكون له قيم سالبة. في الحسابات التي تخص الغازات مثل قانون جاي لوساك، يمكن أن تؤدي درجة الحرارة السالبة إلى حجم سالب وضغط سالب أو نتائج غير واقعية أخرى. السؤال الذي يطرح نفسه إذن: إذا لم يكن هناك درجة حرارة سالبة، فأي درجة ستختارها لأن تكون صفرًا؟ اقترح لورد كلفين أو المعروف بوليام طومسون، مقياسًا به صفر مطلق، أو درجة حرارة منخفضة جدًّا بحيث لا يوجد شيء على الإطلاق يمكنه أن يكون أقل منها.[٥] كيف يمكن لأحدهم أن يشتق مقياسًا مثل هذا؟ عن طريق ملاحظة الكيفية التي يتغير بها كل من الضغط والحجم بتغير درجة الحرارة واستخدام هذه المعلومات للتنبؤ بالنقطة التي يصل عندها الضغط والحجم إلى الصفر. ويطلق على استخدام هذه النقطة على أنها الصفر، أي المقياس المطلق لدرجة الحرارة، يطلق عليها أيضًا «مقياس كلفن». وقد اتضح أن الصفر المطلق هو (−٤٥٩,٦٧°) فهرنهايتية، وتقابل (−٢٧٣,١٥°) سليزية، إنها غاية في البرودة.

ويصلح جدًّا مثل البعوض مع العلاقة التالية للحالة الغازية أيضًا، والشائعة باسم «قانون أفوجادرو».[٦] سُمى قانون أفوجادرو نسبة إلى الفيزيائي الإيطإلي أميدو أفوجادرو الذي اقترح في أوائل القرن التاسع عشر، أن الأحجام المتساوية للغازات تحوي عددًا متساويًا من المولات إذا لم يتغير كل من درجة الحرارة والضغط في نفس الوقت، أو بكلمات أخرى، تشغل مجموعتان من البعوض الفراغ مرتين على أنهما مجموعة واحدة، ويفعل نفس الشيء مجموعتان من جسيمات الغاز.

لكننا نرغب في أن تلحظ أن العلاقات الموصوفة قد تبدو إلى حد بعيد غير واقعية قليلًا حتى إن متغيرًا واحدًا فقط قد يتغير في المرة الواحدة، حين يتغير الضغط أو درجة الحرارة أو عدد المولات أو الحجم. وبالتأكيد، يندر جدًّا أن يكون هذا هو الحال في الواقع، حيث يتغير الضغط والحجم ودرجة الحرارة في نفس الوقت، أو يزداد عدد المولات في حين يتغير كل من درجة الحرارة والضغط أيضًا. ولحسن الحظ يمكن دمج التأثيرات المتنوعة في معادلة واحدة مباشرة تُحسب فيها كافة المتغيرات: التي هي درجة الحرارة والضغط والحجم وعدد المولات. والمعادلة التي تتمكن من عمل توازن للتأثيرات تُسمى «المعادلة المثالية للغاز»، وبهذه المعادلة يتثنى لنا في الطبيعي أن نقدر جيدًا المتغير المفقود، مثل الحجم إذا كان لدينا درجة الحرارة والضغط وكمية الغاز.

$$\frac{\text{الضغط} \times \text{الحجم}}{\text{درجة الحرارة} \times \text{عدد المولات}} = \text{قيمة ثابتة}$$

تذكر هذه المعادلة أن نسبة حاصل ضرب الضغط × الحجم على حاصل ضرب درجة الحرارة في عدد المولات تظل ثابتة، حتى إن معرفة ثلاث متغيرات تساعد على التنبؤ بالمتغير الرابع. فعلى سبيل المثال إذا كان كل من درجة الحرارة والحجم والضغط معروفًا لدينا، فإننا يمكننا أن نحسب كمية الغاز.

ونقول إن معادلة الغاز المثالية هي التي توفر نسبة تقديرية، لأن هذه المعادلة «مثالية» بمعنى أن المثالية قد أُضيفت عليها، وليس بمعنى أنها أفضل معادلة ممكنة، والمثالية هي تجاهل القوى البينجزيئية. في حقيقة الأمر، ستأتي قوى الجذب البينجزيئية إلى المشهد في لقطة ما مسببة انحراف الغاز عن تصرفه المثالي. وقد يتكثف الغاز تحت الضغط، ويدفع الضغط الجزيئات إلى تقارب كافٍ حتى تقوم قوى الانجذاب بممارسة تأثيرها. من ناحية أخرى، إذا كان الضغط كبيرًا جدًّا، فقد ينضغط الغاز أقل من المتوقع حيث إن قوى التنافر تعزل الجزيئات، لكن هذا جيد؛ فالانحراف عن قانون الغاز المثالي يذكرنا بأن الغازات تتألف من نقاط ساكنة هندسية بل من مواد حقيقية لها شكل وحجم وقدرة على الالتصاق ... وحتى أحيانا رائحة.



على سبيل المثال: غازات الأمعاء

افترض أنك اشتريت أدوية مقللة لغازات المعدة، فقد يكون من الشيق أن تلحظ بعض خصائص وتصرفات غازات الهضم التي نحاول أن نمنعها.

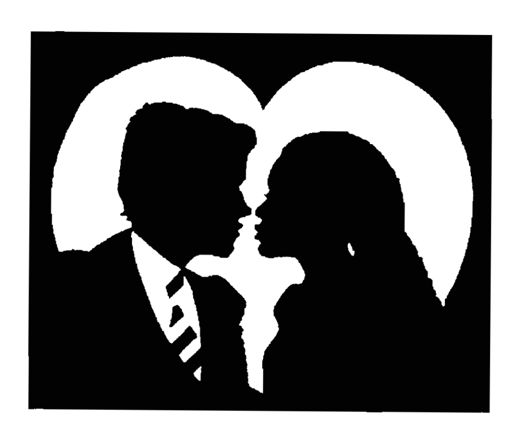
تنتج غازات المعدة في الأمعاء عن طريق البكتيريا والفطريات التي تعيش هناك، وكما سنكتشف على نحو أكثر تفصيلًا في أثناء خوضنا في غمار الكيمياء الحيوية أن هذه البكتريا والفطريات ضرورية، ذلك لأن أجسادنا البشرية لا تحوي المعدات الكيميائية الضرورية لكي تحلل بعض السكر المركب الموجود في الطعام مثل الفول والبسلة. من ناحية أخرى تتمتع هذه البكتريا والفطريات بالمقدرة على تحليل هذه الأطعمة، لكنها عندما تقوم بذلك، يكون من أعراضها الجانبية هذه الغازات التي تحوي ثاني أكسيد الكربون والهيدروجين والميثان. هذه الغازات هي بلا رائحة في حد ذاتها لكنها تلتقط في رحلتها عبر الأمعاء القليل من الشوائب بما فيها بعض المركبات المحتوية على الكبريت ذي الرائحة الكريهة. ويعتبر الميثان مادة قابلة للاشتعال لذا بالفعل تعتبر بعض غازات البطن بالفعل قابلة للاحتراق، لكن الأسطورة الأخرى — القائلة إن الغازات القابلة للاحتراق يمكنها أن تبعث إشعاعات ضوئية داخل الأمعاء — غير صحيحة. وكما لاحظنا، يتطلب الاحتراق وجود الأوكسجين، أما الغازات التي لا تزال داخل البطن فهي ممنوعة نسبيًّا من الأوكسجين. ولكن حتى إذا أزيلت

الومضات الضوئية من المعدة باعتبارها أمرًا خطيرًا، فالفكرة القائلة بمحاولة إشعال غازات المعدة فكرة سيئة، والعوائق واضحة.

إلا أن الأمر الوثيق الصلة بمناقشتنا الحالية هو لماذا تخرج غازات المعدة على أي حال؟ تفيدنا الخبرات العامة أن الحالة الغازية تكون أقل كثافة من الحالة السائلة وأن فقاعات الغاز تخرج خارج المواد الشبه سائلة، وتؤكد مرة أخرى مناقشتنا حول خصائص الحالة الغازية هذه الفكرة، إلا أنه يبدو أن غازات الأمعاء تنتقل في الاتجاه المعاكس.

وسبب هذا السلوك المعاكس هو حدوث التمعج (الحركة الدودية للأمعاء) هو فعل التقلص التي تقوم به الأمعاء وهي تدفع ما بداخلها نحو الخارج. يُثار فعل التمعج بالأكل أو الشرب مما يسبب خروج الغازات مباشرة بعد الأكل حتى إذا كانت الوجبة الحالية لا تزال داخل المعدة في مراحل هضمها الأولي، وإذا تمكن أحد الغازات من التسلل في عكس اتجاه عمل التمعج، فإن الانحناءات والالتفافات الكثيرة داخل الأمعاء تعمل على الحيلولة دون تقدم سيره، ولكن عندما يستلقي الفرد على ظهره، تبطل قضية الاتجاهات مما قد يسبب خروج الغازات مباشرة بعد الاستيقاظ.

ومن الممكن إيجاد وسائل مساعدة على الهضم يمكنها أن تقلل من كم الغازات المنتجة. (سوف نرى كيف تعمل هذه الوسائل لدى تناولنا لهذا الموضوع مرة أخرى في أثناء مناقشتنا للكيمياء الحيوية). ومن الممكن أيضًا تجنب الغازات الزائدة عن طريق الابتعاد عن الأطعمة المسببة لها، مثل الأرز والمكرونة والبطاطس والفول والبازلاء. كل هذا التجنب ليس من أجل الصحة لكن من أجل السلوك الاجتماعي اللائق؛ حيث تعتبر رائحة الغازات التي تتنوع بتنوع الأكل المهضوم شيئًا سيئًا في ثقافات عديدة، ويعتبر الصوت الذي يتحرك على حد سواء مثل الغاز عبر الأمعاء ثم عبر المخرج، شيئًا بذيئًا، لكن ليس هناك مجال للربط بين الحالات المرضية والغازات الزائدة، في حقيقة الأمر قد يكون العكس صحيحًا، لذا من المحتمل ألا يكون صحيًّا أن تحاول أن تكتم الغازات المعوية. عموما، يعتبر خروج الغازات علامة على أن الأمعاء تعمل جيدا، وهو أمر جيد أن تعرفه.



تجربة ١١: إنه في الهواء

«ما الكيمياء!
أهي أن الرياح غير معدية بحق،
وأن الأمر ليس بخدعة في أن مياه البحر الخضراء تتبعني في لهفة،
وأنه من المأمون السماح لها بأن تلعق جسدي العاري بألسنتها ...
فالمتعالي والمتشنج والمنقبض يستيقظون ليجدوا أنفسهم في كمال الصحة، فتراهم يحملون نسيم الليل وكيمياء الليل والاستيقاظ ...
فيا أيها الحب، حل كافة الأمور واجعلها تثمر بالكيمياء الأخيرة ...»

والت وايتمان في «Leaves of Grass» ١٨٥٥

لقد لاحظنا في مناقشتنا عن تركيز المحاليل أن تفاعلات عديدة هامة تحدث في المحاليل حيث إن المحاليل توفر الحركة ووسائل الاتصال، إلا أن ثمة تفاعلات أخرى تحدث في الحالة الغازية وفي المرحلة التي تتوسط الغاز والمادة الصلبة أو السائلة، فجزيئات الغاز تتمتع أيضًا بالقدرة على الحركة.

وتُسمى حركة الجزيئات هذه «الانتشار»، وانتشار الغازات يمكن برهنته بسهولة: اختر منطقة خالية من النسمات. ارتد نظارتك الواقية. اسكب القليل

من النشادر في وعاء، ثم ضعه في أحد جوانب الحجرة ثم امشِ إلى الجانب البعيد من الحجرة. إذا انتظرت دقيقة أو اثنتين، ستصل إليك رائحة النشادر؛ لأن جزيئات النشادر في الحالة الغازية خفيفة الوزن جدًّا وتنتشر بسرعة. تعتمد الحشرات بصورة كبيرة على الانتشار. فالفرمونات مركبات كيميائية تبعث روائح تستخدم كوسيلة اتصال لجذب بعض الحشرات بعضها لبعض. يمكن لذكر الجيبسي موس (نوع من العثة) أن يشتم رائحة القليل من مئات جزيئات الهرمونات الجاذبة للجنس في أنثى العثة المنطلقة في الهواء من على بعد ثلاثة أميال؛ فالحب شيء رائع.

ينتج الانتشار عن حقيقة أن الجزيئات تكون في الحالة الغازية في حالة حركة دائمة، ومع ذلك فمتوسط معدل الحركة يتنوع بناءً على درجة الحرارة وكتلة الجزيء. والأسباب بديهية، حيث تشير درجات الحرارة العالية إلى أن مزيدًا من الطاقة موجود في النظام، من ثم تنتقل الجزيئات على نحو أسرع، تمامًا مثلما تنتقل رمية كرة السلة المقذوفة بمزيد من الطاقة بسرعة أعلى، وتنتقل الجزيئات التي لها كتلة أكبر بصورة أبطأ من الجزيئات التي لها كتلة أقل، تمامًا مثلما تنتقل كرة البولنج بصورة أبطأ من كرة السلة إذا قذفنا الاثنتين بنفس الطاقة، ويمكن إثبات توقف الانتشار على الكتلة بالآتي.

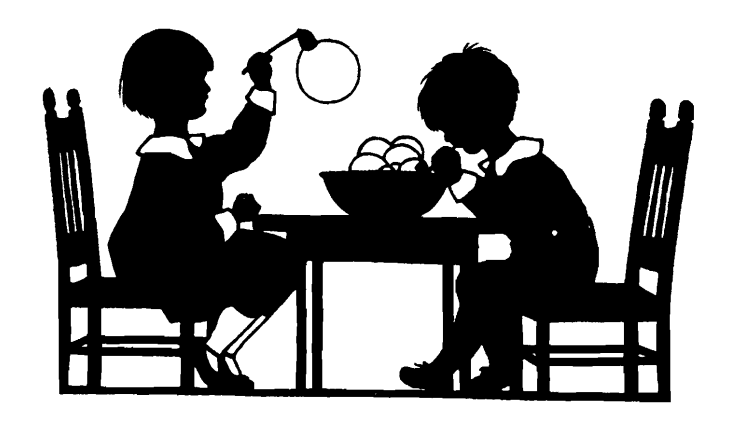
ارتدِ نظارتك الواقية، خذ كوبين طويلين بنفس الارتفاع واملأ إحداهما بنحو بوصتين من الخل واملأ الأخرى بنفس المقدار من محلول النشادر المنزلية. تأكد من أن الارتفاع متساوٍ في الكوبين.

بلل منشفة ورقية ثم أضف قطرات قليلة من دليل الفينول الأحمر الذي يوجد في عبوة اختبار قلوية محلول حمام السباحة المقترح في «قائمة المشتريات والمحاليل»، على المنشفة الورقية. ضع المنشفة الورقية والمبللة ببقعة الفينول على فوهة كوب الخل. بعد مضي ثلاث دقائق نجد أن لون المنشفة الورقية يتحول إلى اللون الأصفر. يحدث هذا التغيير في اللون بسبب هروب جزيئات حامض الخليك من الخل وانتشارها وهي في الحالة الغازية حيث تصطدم بدليل الفينول الأحمر الموجود في المنشفة الورقية. وعندما يتغير لون المنشفة إلى اللون الأصفر التقطها وضعها على فوهة الكوب الذي يحوي النشادر. ينبغي أن يتحول لون المنشفة الآن إلى اللون الأحمر لكن بشكل أسرع من ذي قبل. يتغير لون المنشفة إلى اللون الأحمر لأن النشادر قاعدة، وتتحول إلى اللون

الأحمر بسرعة لأن جزيئاتها أخف بنسبة ثلاث مرات ونصف من جزيئات حامض الخليك؛ فتتحرك على نحو أسرع في الهواء. بمجرد تحول لون المنشفة إلى اللون الأحمر، يمكن وضعها مرة أخرى على محلول حامض الخليك نجد أنها تتحول إلى اللون الأصفر مرة أخرى، لكن التفاعل يكون بطيئًا أيضًا.

لنستعرض الآن بمزيد من التفصيل الانتشار والفوارق الدقيقة الأخرى في تفاعلات الحالة الغازية.





الفصل الحادي عشر

عندما توضع الغازات في الأجواء

«بدون الرماد ما كنا لنعرف أنه يوجد نار،
لا تستهن بأكثر المحرقات سوادًا،
من أجل المخلوقات الراحلة،
التي كانت ترفرف أرواحها منذ فترة وجيزة،
في البدء كانت النيران توجد في النور،
ثم قويت،
ما من أحد يستطيع أن يكشف
ما الكربون إلا الكيميائي.»

إميلي ديكنسون في «قصائد»، السلسلة الثالثة ١٨٥٠

تتميز التفاعلات الكيميائية في الحالة الغازية بأنها واسعة الانتشار جدًّا ومهمة جدًّا وغريبة الأطوار جدًّا. وسنوضح هنا بعض ميول التفاعلات المتضمنة لحالة الغاز عن طريق أمثلة قد تبدو مألوفة جدًّا.

تنبع معظم الأشياء المميزة في تفاعلات الحالة الغازية من حقيقة أن جزيئات الحالة الغازية، في المتوسط، متباعدة جدًّا نسبيًّا — نسبيًّا، مقارنة

بمجموعات جزيئات الحالة الصلبة أو الحالة السائلة — هي أيضًا تتطاير بسرعات عالية عمّا يجب أن تكون عليه في الحالة السائلة أو الصلبة، وكنتيجة لذلك تكون قوى الجذب البينجزيئية غير هامة نسبيًّا، وبسبب أقفاص المذيب واللزوجة الناتجة عن التفاعلات البينجزيئية، قد تأخذ المتفاعلات في الحالة السائلة المزيد من الوقت حتى يذوب بعضها في بعض، ولكنها تستغرق المزيد من الوقت أيضًا حتى ينعزل بعضها عن بعض، مما يسهل عملية التفاعل. تجد المتفاعلات نفسها في السائل على نفس البعد لمدة طويلة من الوقت وقد تتحرك في المزيد من التصادمات بعضها مع بعض. وكلما كان هناك مزيد من التصادمات، زادت إمكانية حدوث التفاعل. وإذا كان على جزيئات الحالة الغازية أن تقتل بعضها بعضًا، فإنها غالبًا تتباعد كنوع من التفاعل.

من ثم هناك عدد من العوامل التي تعمل ضد نجاح تفاعلات الحالة الغازية، حتى إن العديد من تفاعلات الحالة الغازية تشتهر بأنها لا تتفاعل فحسب بل إنها تتفاعل محدثة انفجارات أيضًا، مثل تفاعل غازات أدخنة البنزين والأوكسجين، إلا أن الفحص عن كثب يبين أن عددًا من هذه التفاعلات يجب أن تُستهل أو تُشعل بها شرار قبل أن تنتهي. قد يسبب الشرار حدوث التفاعل، وإلا لن يحدث أي شيء، حيث إن الشرار يُفضي إلى تكوين ما يُعرف بـ«الراديكال»، وهو نوع كيميائي ذو إلكترون مفرد.

وقد يكون مصطلح الراديكال مألوفًا لمشاهدي أخبار المساء؛ فالسياسي الراديكالي يسبب الشغب بأفعاله المتطرفة، كذلك يسبب النوع الكيميائي الراديكالي الشغب في الجسم: فالإفراط في الأنواع الراديكالية يُلام بسبب الشيخوخة ومرض السرطان. وقد شرحنا من قبل كيف أن الذرات تميل إلى أن تجمع إليها الإلكترونات أو تلفظها بعيدًا عنها حتى تصل إلى حالة من الامتلاء في طبقاتها الخارجية. الآن يمكننا أن نشير إلى أن هذه الطبقات الممتلئة تمامًا غالبًا تنتهي بعدد زوجي من الإلكترونات، وكما اتضح، تميل كل من الذرات والجزيئات إلى أن يكون لديها عدد زوجي من الإلكترونات لأن الإلكترونات تدخل في أزواج. مثل زوج الحذاء داخل العلبة التي يُوضع فيها حيث يُطابق كل منهما الآخر كزوج، وأحدهما بجانب الآخر. وعندما يحدث شيء ماء يجعل الإلكترون غير متزاوج، أي راديكالي، فيميل هذا النوع إلى أن يصبح ذا نشاط عالٍ؛ بمعنى أنه يبحث عن إلكترون آخر. يزيد وجود

الراديكاليين الأحرار في الحالة الغازية من عدد فرص التلاقي الناجحة بصورة ملحوظة.

وكما رأينا في مناقشتنا لتفاعلات الأكسدة والاختزال، يمكن لتفاعلات الاحتراق الانتقال عبر الحالة الغازية بسرعة عالية. وتعتبر المذيبات الغازية بالمثل ذات قابلية عالية للاشتعال، ولهذا ينبغي أن تُستعمل بعيدًا عن أية شرارة أو مصدر للهب وفي مكان جيد التهوية. ولا ينبغي أن يتصل المذيب السائل باللهب لأنه سيُحدث مشكلة. وإذا اختلطت المذيبات الغازية مع الأوكسجين في الهواء، عندئذ قد يكون الشرار هو كل ما نحتاجه لحدوث التفاعل.

وتتشابه تمامًا الاحتراقات الحادثة في محرك الاحتراق الداخلي، ويُنثر البنزين كطبقة ضباب رقيقة على الأسطوانة حيث يختلط بالهواء ويُضغط قبل إشعاله، وتكون درجة الحرارة النهائية مرتفعة جدًّا حتى إن غازي النيتروجين والأوكسجين الموجودين في الهواء يتفاعلان ويكونان مركبات نيتروجينية وأوكسجينية عديدة مثل NO، NO_2. ويمكن أن يُشار أحيانًا إلى هذه الأدخنة إجمالا على أنها NOx (تُنطق نوكس)، ويعلل اللون البني المحمر لمركبات NOx اللون البني المحمر الموجود في الدخان. وتعتبر الأدخنة التي تكون قد لاحظتها عند إعداد محلول كبريتات النحاس، كما هو موصوف في «قائمة المشتريات والمحاليل» من مركبات NOx.

ويُطلق الهيدروجين المختلط بالأوكسجين أحد تفاعلات الحالة الغازية الانفجارية الأخرى المعروفة، الذي يُحتمل غالبًا أنه كان له يد في انفجار مكوك كولومبيا الفضائي وكذلك في كارثة هيدنبرج. وعادة ما تتفاعل انفجارات الحالة الغازية عبر سلسلة من التفاعلات؛ فالإلكترون في حالة الراديكال يجد رفيقه، لكنه يسرقه من زوج آخر في أثناء العملية، مما يؤدي إلى نشوء راديكال آخر وغالبًا أكثر من راديكال إذا تمزقت الرابطة.

وبسبب هذه السلسلة من الأحداث، يتنوع تفاعل الحالة الغازية في سماته الانفجارية بناء على إجمالي الضغط، بمعنى عدد الجزيئات الممكنة المستهدفة الموجودة، ففي الضغط المنخفض يخفق تفاعل الهيدروجين والأوكسجين حيث إن تركيز المتفاعلات لا يكون كافيًا لحدوث التفاعل، ويكون التفاعل انفجاريًّا تحت الضغط المعتدل، لكن من المثير أن الخليط يصبح أقل انفجارية مرة أخرى تحت الضغط المرتفع جدًّا، والسبب في هذا التغيير هو إخماد تكوُّن

الشقوق الراديكالية، وفي ظل الضغوط الهائلة، فإن الشقوق الراديكالية يمكن أن تفقد الطاقة عن طريق التصادمات بينها وبين جدران الأوعية التي تحتويها فتكوِّن نظائر سالبة بدلًا من حدوث سلاسل تفاعلات انفجارية. وفي ظل نفس هذه الضغوط الهائلة، ثمة جزيئات متفاعلة كثيرة، إذ إن جدران الأوعية تعجز عن إبطال مفعول الشقوق الراديكالية بالسرعة الكافية التي تمكنها من إيقاف تفاعل انفجاري، ثم يتولى الانفجار مسألة الجدار على نحو مستمر. ويبرز الأوكسجين في تفاعلات انفجارية عديدة، ويرجع ذلك إلى أن الأوكسجين يوجد طبيعيًّا كشقّ ثنائي الراديكالي: فإلكترونان حول جزيء الأوكسجين مفردان، وكل إلكترون فردي يكون أكثر نشاطًا.

ولطالما ناقشنا التفاعلات التي يكون فيها كل من المتفاعلات والنواتج في الحالة الغازية، لكن لا تعد هذه هي التفاعلات الوحيدة التي تتضمن الحالة الغازية، فأحيانًا يكون المتفاعل مادة صلبة، ويكون الناتج في الحالة الغازية. وقد يظن البعض أن التفاعلات التي تكون متفاعلاتها مواد صلبة ونواتجها غازات تتصرف ببطء لأن الجزيئات في المادة الصلبة محدودة الحركة، إلا أن البارود يعتبر مثالا على تفاعل يتحول فيه الصلب إلى غاز حيث يتصرف التفاعل بنشاط شديد عند إشعاله. في حالة البارود، يتحول كل من النترات الصلبة والكربون والكبريت إلى مركبات NOx الغازية، وثاني أكسيد الكربون وأكسيد الكبريت بسرعة عالية جدًّا حتى إن التمدد يمكنه أن يطلق رصاصة تصل سرعتها إلى نحو ألف قدم في الثانية. بالمثل، يملأ تحلل أزايد الصوديوم، الذي هو مركب الصوديوم والنيتروجين، إلى غاز النيتروجين، يملأ الوسائد الهوائية في السيارات في واحد على عشرين من الثانية. فأجهزة الإحساس تكتشف الأثر ثم تبعث بشرارة كهربية إلى تفاعل أداة الاشتعال التي تُوَلِّد بدورها ما يكفي من حرارة لبدء عملية تحلل أزايد الصوديوم إلى غاز النيتروجين.

وتفاعلات الحالة السائلة التي تنتج غازات تتضمن بعض التفاعلات التي نريد أن نتجنبها، وقد تتذكر أن أحد التحذيرات التي قدمناها في «كلمات قليلة وضرورية بشـأن الأمان والسلامة» ألا تكون مبدعًا مع مخاليط المواد الكيميائية، ومن أهم الأسباب منتجات الحالة الغازية، ويمكن أن تنتج المنظفات المنزلية غازات ضارة يمكنها أن تسبب صعوبة في التنفس أو أكثر من ذلك، وتعد نواتج الحالة الغازية نواتج غادرة ولاسيما في هذا الشأن لأنها تنتشر

في جميع أرجاء الحجرة، حتى الغازات التي يبدو أنها غير مؤذية يمكنها أن تسبب اختناقًا إذا كانت مركزة بشكل كافٍ حتى تحل محل الأوكسجين اللازم للتنفس. في وقت ما في تاريخ أوربا كان ثاني أكسيد الكربون يُسمى «غاز سلفستر»، تأتي كلمة سلفستر عن الكلمة اللاتينية التي تعني «غابة»، حيث كان يوجد الغاز في كهوف تحوي خشبًا فاسدًا فتحللت مركبات الكربون في الخشب إلى ثاني أكسيد الكربون، وغاز ثاني أكسيد الكربون هو غاز أثقل من الهواء، لذا استقر في أرضية كهوف غير جيدة التهوية، وكانت الكلاب التي تأتي إلى الكهف تختنق في حين ينجو الإنسان لأنه يتنفس في مستوى أعلى من الأرض. وبالطبع كل هذه الأمور لا تُرى، وفي هذا الوقت من تاريخ أوربا، كان يصعب على العالم الأوربي إدراك هذه الأمور غير المرئية، فكانت غامضة جدًّا بالنسبة لهم. لهذا السبب وغيره من الأسباب العديدة، يمكن أن نغفر للأوربيين الأوائل اعتقادهم الذي يبدو غير عقلاني في السحر والخرافات؛ فعندما ترى كلبك يسقط ميتًا أمام عينيك بقوى غير مرئية ليس لها تأثير عليك، قد يقنع هذا أي أحد بالقوى الخارقة للطبيعة!

ويصعب أيضًا أن نتعامل ببساطة على طول الوقت مع التفاعلات التي تتضمن متفاعلات غازية لأن هذه المتفاعلات ينبغي تركيزها أو تجميعها قبل حدوث تفاعل هام. ويعنى تجميع متفاعلات الحالة الغازية عامة زيادة ضغط غازات محددة. في أحد تفاعلات الغاز المشهورة التي يتفاعل فيها النيتروجين والهيدروجين ليكونا النشادر، يكون ضغط الغازات مرتفعًا، ويُسخن خليط التفاعل، ويُستخدم ميسر أي عامل حفاز.

وتُسمى هذه العملية «عملية هابر» ويُنتج فيها النشادر الذي يمكن تحويله إلى نترات، وهو مكون لا يمكن الاستغناء عنه في البارود. وقبل أن تُعرف هذه العملية كانت الطبيعة توفر النترات، فبعض النباتات مثل البازلاء والفول تحتفظ بالبكتريا في جذورها، التي يمكنها أن تأخذ النيتروجين من الهواء، بمعنى أنها تحول النيتروجين في الحالة الغازية إلى مركبات يمكن أن يستخدمها النبات. والحيوانات تأكل النباتات ويتكون النيتروجين في سمادها الغني بالنيتروجين، والكميات الكبيرة من السماد مثل تلك التي توجد في المناطق التي تتوافد عليها أسراب ضخمة من الطيور موسميًّا، تستخدم لكي يُجنى منها النترات. وفي أوروبا قبيل الحرب العالمية الأولى، كانت تُستورد مثل هذه النترات،

مما يعني أن الدول المصدرة كانت عرضة للحصار. من ثم كان التركيز منصبًّا على أكثر الطرق الداخلية لتصنيع النشادر من غاز النيتروجين الموجود في الجو.

وكان أول من استنبط طريقة عملية، هو الكيميائي الألماني فريتز هابر الذي تلقى الكثير من المدح والتقدير (بما في ذلك جائزة نوبل عام ١٩١٨) ومكانة مميزة عندما تعلق الأمر بصرف الأموال والتسهيلات الجديدة. وعندما تعاقبت الحرب استمر في خدمة الحكومة الألمانية ووافق على العمل في تطوير غاز الخردل والأسلحة الكيماوية الأخرى. في ذلك الأثناء، أُصيبت زوجته بالاكتئاب، ثم انتحرت، وعندما خسرت ألمانيا الحرب العالمية الأولى، أُجبر على الهروب من ألمانيا لأنه يهودي، عندما احتلت النازية السلطة.[٢]

وكمنت الطفرة التي أحدثها هابر في إيجاد العامل الحفاز، الميسر لحدوث التفاعل، الذي كان في هذه الحالة الخاصة الحديد وصدأ أكسيد الحديد. تيسر العوامل الحفازة الصلبة التفاعلات لأن الجزيئات هي وحش ثلاثي الأبعاد، عندما يتعلق الأمر بالتفاعلات وأمور التوجيه. ويمكن فهم هذه القيود عن طريق الأخذ بعين الاعتبار التفاعلات بين الأشياء الأخرى ثلاثية الأبعاد بعين الاعتبار، فالقبلة هي مجرد قبلة، لكن الإنسان ثلاثي الأبعاد ينبغي توجيه إلى القبلة الصحيحة لتكون هادفة وفعالة. وقد تعتبر أحد مميزات العامل الحفاز الصلب هي أنه يمكنه أن يحفظ المادة المتفاعلة لتتكيف مع ظروف التفاعل. تستخدم السيارات المحولات الحفازة لتحول NOx مرة أخرى إلى نيتروجين وأوكسجين ولكي تحول أول أكسيد الكربون السام إلى ثاني أكسيد الكربون.

من التفاعلات الأخرى التي تتضمن الغازات والعوامل الحفازة هي تلك التفاعلات التي تكون فيها المتفاعلات في الحالة الغازية والنواتج في الحالة الصلبة أو السائلة، وتعتبر عملية «فيشر-تروبش» مثالًا على هذا التفاعل.

في عملية «فيشر-تروبش»، يُنتج أول أكسيد الكربون عن طريق تعريض الفحم للبخار، وُتسمى هذه الطريقة «تحويل الفحم إلى غاز».

$$C + H_2O \longrightarrow CO + H_2$$

ويُسمى خليط الغازات الناتجة «الغازات التخليقية» ويمكن تخصيبه بالهيدروجين من خلال التفاعل المحول للماء.

$$CO + H_2O \longrightarrow H_2 + CO_2$$

وإذا تم هذا عدد مرات كافية، ينتج هيدروجين نقي تمامًا ليستخدم في تركيب هابر للنشادر، ويمكن أيضًا تحويل أول أكسيد الكربون والهيدروجين إلى الميثانول والكحول اللذين يمكن استخدامهما كوقود، أو إذا كُررت عملية التحويل هذه لعدة مرات مع استخدام العامل الحفاز يتحول إلى سلسلة طويلة من مركبات الكربون التي تكون الشمع والزيت.

$$CO + 3H_2 \longrightarrow CH_4 + H_2O$$

$$\longrightarrow\longrightarrow \text{ long chain of } CH_3CH_2CH_2CH_2 \ldots$$

رأينا الآن أن التفاعلات بين المواد الصلبة والسائلة والغازية تعتبر ضرورية لتفاعلات هامة عديدة تدخل في الصناعات، علاوة على أن التفاعلات الأخرى التي تشتمل على تفاعلات المواد الغازية والمواد السائلة والمواد الصلبة هي تفاعلات حيوية لنا على مستوى الحياة غير الصناعية، مثل ما بيننا وبين الهواء الذي نتنفسه على سبيل المثال.



على سبيل المثال: توصيلات معدنية للتنفس

لعل أكثر الأمثلة الأخاذة للتفاعلات المشتملة على الحالة الغازية هو التنفس، والتنفس هو العملية التي تتبادل الكائنات الحية عن طريقها الغازات مع بيئتها، وبعملية التكافل العظيم في كوكب الأرض، تستهلك النباتات ثاني أكسيد الكربون وتطلق الأوكسجين، في حين أن حلفاءها الحيوانات تستهلك الأوكسجين

وتطلق ثاني أكسيد الكربون، إلا أن النباتات تحتاج أيضًا للأوكسجين، والأمر الذي قد يثير الذهول هو أن تفسير ذلك الأمر يتضمن فكرة عمل البطاريات.

تدير البطاريات الأجهزة الكهربية عن طريق مدها بفيض من الإلكترونات، ويُضاهى مجرى الإلكترونات بسيل النهر (في حقيقة الأمر كل منهما يُسمى تيار)، وتعتبر هذه المضاهاة جيدة، وتمامًا مثلما يعمل مجرى الماء من خلال دوران الساقية، يمكن أن يعمل مجرى الإلكترونات أيضًا. تنتج البطارية مجرى إلكترونات بتفاعلين: أحدهما ينتج الإلكترونات والآخر يستهلكها، وهذان التفاعلان منعزلان فيزيائيًّا أحدهما عن الآخر، لكن يمكن توصيلهما بسلك.

تحتاج البطارية إلى تفاعلين لأن تيار الإلكترونات لا يتدفق إلا إذا كان لديه مصدر ومكان ليركن إليه، ويعتبر الاحتياج الثاني — مكان يركن إليه — في غاية الأهمية، وإذا أُعيق المجرى، فإن الماء لا يتدفق، وأنت ليس لديك مجرى، أنت لديك بركة. بالمثل، كي تتدفق الإلكترونات في تيار كهربائي ينبغي أن يكون لديها مكان لتذهب إليه، وتخزن البطاريات المختزنة الشحنة لأن الإلكترونات لا يمكنها أن تغادر إذا لم يوجد مكان تذهب إليه، ولكي تنتج مجرى من الإلكترونات ينبغي أن توصل أطراف البطاريات المختزنة بسلك لكي تُنشئ قاعًا للمجرى، هذا إذا كنت تريد استخدامها.

ويمكن أن تُدار أيضًا عمليات النباتات عن طريق مجاري الإلكترونات من تفاعلات ثنائية — أحدهما يجلب لإلكترونات والآخر يستهلكها — وهذه التفاعلات يمكن فصلها أيضًا، وينبغي أن تُوصل تفاعلات النباتات أيضًا لكي يُسمح بتدفق الإلكترونات، لكن بدلًا من استخدام الأسلاك، تملك النباتات شيئًا يُسمى «سلسلة نقل الإلكترونات»، وسنسرد هنا طريقة عملها.

تعتبر النباتات ذاتية التغذية، بمعنى أنها قادرة على صنع غذائها بنفسها، لكنها لا تخلقه من الهواء الرقيق، بل من الهواء الكثيف: الكثيف بثاني أكسيد الكربون، CO_2. تأخذ النباتات ثاني أكسيد الكربون والماء وتنتج الكربوهيدرات والأوكسجين عن طريق سلسلة متناسقة على نحو خلاق من الأحداث تُسمى «البناء الضوئي»، ثم تقوم النباتات بعد ذلك عن طريق طريقة مماثلة لتلك التي يقوم بها أقرانها الحيوانات، تقوم بأيض السكريات للطاقة وتستهلك في تلك العملية الأوكسجين. كل خطوة في تلك العملية تحتاج أن تُزود بالطاقة، وتأتي الطاقة من تدفق الإلكترونات، تمامًا مثلما يمكن لتدفق الإلكترونات أن يدير

جهازًا كهربائيًّا. وعادة يكون مصدر الإلكترونات في الجهاز هو البطاريات، ويكون مصدر الإلكترونات في أوراق الأشجار هو شبيه للبطاريات أيضًا، لكن أصغر كثيرًا.

في المرحلة الأولي من عملية البناء الضوئي، التي تسمى المرحلة الضوئية، يمد التفاعل الآتي

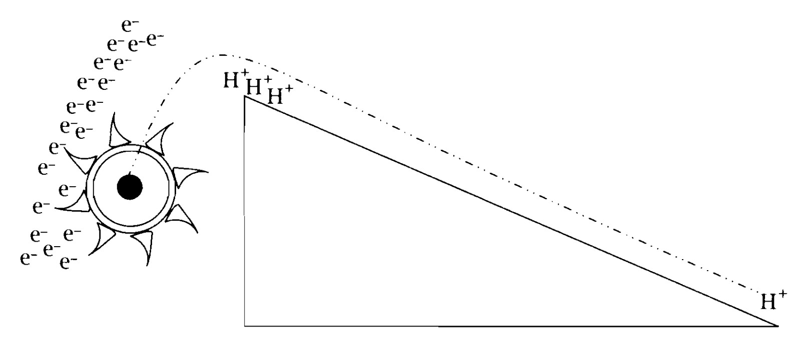
$$2H_2O \longrightarrow 4H^+ + O_2 + 4\ \text{electrons}$$

يمد الكلوروفيل، وهو جزيء الصبغة الخضراء في النبات، بالإلكترونات. وتهيج أشعة الشمس الإلكترونات كي تتدفق من الكلوروفيل إلى سلسلة نقل الإلكترونات، التي تعمل كشبكة أسلاك في أوراق النبات، وقد أصبح استخدام الضوء لإثارة الإلكترونات حدثًا يوميًّا مع انتشار الأجهزة التي تعمل من على بعد بالريموت كنترول. يثير الضوء عن طريق التحكم من بعد الإلكترونات الموجودة في أجهزة الاستقبال الشبه توصيلية الموجودة في — ولنقل — جهاز التلفاز، ويعمل التيار الناتج بدوره بتشغيل الدوائر الإلكترونية أو فصلها في جهاز التلفاز. وفي أوراق النبات، يثير الضوء الإلكترونات الموجودة في الكلوروفيل والتيار الناتج يجري عن طريق السلسلة الناقلة للإلكترونات، والسلسلة الناقلة للإلكترونات هي سلسلة من الجزيئات يمكنها أن تمرر الإلكترونات، وتقع في تركيب نباتي يُسمى غشاء الثيلاكويد.

لكن كما أشرنا، لن يتدفق التيار ما لم يكن هناك مكان يذهب إليه، وفي المرحلة الضوئية من عملية البناء الضوئي، يقوم فوسفات ثنائي نيكليوتيد النيكوتين والآدنين — وهو جزيء يحوي العديد من الرموز في صيغته الكيميائية مثل تلك الحروف الموجودة في اسم صعب المأخذ — بامتصاص الإلكترونات المتدفقة لأسفل عبر سلسلة نقل الإلكترونات، ومن حسن حظنا، أنه يكفي الإشارة إلى هذا الجزيء بالأحرف الأولى منه، $NADP^+$، وهي ممارسة شائعة في عالم الكيمياء الحيوية المعقد.

ومن السمات الساكنة في $NADP^+$ شحنته الموجبة الصافية التي يمكن أن تعمل بطريقة ما كإسفنجة للإلكترونات.

$$NADP^+ + H^+ + 2\ \text{electrons} \longrightarrow NADPH$$



شكل ١-١١-١: أن العمل الذي يقوم به تدفق الإلكترونات لأسفل سلسلة نقل الإلكترونات يُستخدم لنقل البروتونات إلى قمة ميل البروتون.

وفي عملية تدفق سلسلة نقل الإلكترونات إلى $NADP^+$، تعمل الإلكترونات، وفي هذه الحالة يستخدم العمل الذي تقوم به لخلق «ميل البروتون».

في هذه النقطة، يجب علينا أن نقحم شيئًا ما غير متعلق بالموضوع: الهيدروجين كما قد تتذكرون، يتكون من بروتون واحد وإلكترون واحد عندما تكون ذرته متعادلة، وعندما تُجرد ذرة الهيدروجين من الإلكترون، فإنها تكوِّن أيون الهيدروجين، ويُشار غالبًا إلى أيون الهيدروجين الناتج على أنه مجرد بروتون، لأن هذا هو الحال بالفعل عندئذ، إذ يصبح بروتون ليس إلا. ويكون «للميل» نفس الدلالة في العلوم مثل ميل جبل أو ميل طريق، أي أنه الاختلاف في الحجم بين كميتين، أو مثل الارتفاع، أو كما في هذه الحالة عدد البروتونات التي تفصلها بعض القوى، وعليه يُشار إلى حركة أيونات الهيدروجين من أحد جوانب غشاء الثيلاكويد إلى الجانب الآخر على أنها إعادة ضبط لميل البروتون.

لماذا ترغب الأوراق في أن تضبط ميل البروتون؟ من ثم تستطيع البروتونات، شأنها في ذلك شأن الإلكترونات، أن تتدفق من مكانها بغزارة إلى المكان الذي يوجد فيه عجز وتقوم بعملها. والعمل الذي تقوم به البروتونات هو إدارة مصنع الكيمياء الموجود في كافة الخلايا الحية: ATP.

ويقدر ATP، الذي يُعرف أكثر من ثلاثي فوسفات الإدينوزين، على تخزين الطاقة للعمليات الخلوية، وعندما يتفاعل ATP، تُستخدم الطاقة المختزنة في

روابطه لقيادة عمليات عديدة مثل نقل المواد التي توجد في الخلايا، وتخليق المركبات التي تحتاجها الخلية، وفي تقلص الأنسجة العضلية في الحيوانات. لكن لإنتاج ما يكفي من ATP للقيام بكافة هذه الأعمال، ينبغي أن توجد آليات أخرى لتوليد ATP، التي تبدأ بمرحلة الظلام من البناء الضوئي.

ومرحلة الظلام هي مرحلة «ظلام» لأنها لا تحتاج إلى ضوء لإتمامها، وتسمى مرحلة الظلام أيضًا «دورة كالفين»، حيث إن أول كيميائي وصفها هو ملفين كالفين. وفي مرحلة الظلام، يُثبت الكربون الموجود في ثاني أكسيد الكربون، بمعنى أنه يتحول إلى شكل أقل تطايرًا، وهو السكر، الذي يمكن أن تستخدمه النباتات والحيوانات مصدرًا للطاقة، وينتج غاز الأوكسجين في هذه الخطوة لكنه يخرج إلى الهواء كأحد المنتجات الفرعية:

$$6CO_2 + 6H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 \text{ (glucose)} + 6O_2$$

ويعتبر أحد مصادر الطاقة لهذا التفاعل NADPH الذي يُنتج في أثناء عملية البناء الضوئي، وتشتمل هذه التفاعلات أيضًا على ثلاثي فوسفات الإدينوزين، الذي ينفد في أثناء تلك التفاعلات — لكن يُعوض عنه في المرحلة التالية، بل تجلب تلك المرحلة المزيد — وتتضمن الخطوة التالية كسر الكربوهيدرات/السكر لإطلاق الطاقة عن طريق عملية تُسمى «التنفس الخلوي».

يقوم كل من الحيوان والنبات بمرحلة التنفس الخلوي من الأيض، ومع أن عملية البناء الضوئي لا يمكن حدوثها إلا في أثناء النهار، علاوة على أن بعض النباتات تمارس بياتها الشتوي دون أن تقوم بعملية البناء الضوئي في فصل الشتاء، فإنه يجب الاستمرار في عملية التنفس، ليلًا ونهارًا، صيفًا وشتاءً، وتشابه عملية التنفس الخلوي التي تحدث في خلايا النبات عملية التنفس الخلوي التي تحدث في خلايا الحيوان تشابهًا كبيرًا. وتنكسر الكربوهيدرات في عملية التنفس الخلوي لإنتاج ATP. مرة أخرى يقوم بالعمل تيار إلكتروني يسري عبر سلسلة نقل الإلكترونات، وتخلق الإلكترونات المنحدرة إلى أسفل سلسلة نقل الإلكترونات، ميل بروتوني يُستخدم للعمل على تكوين ATP. ومن أحد الاختلافات هو أن مصدر الإلكترونات هو الشكل المُختزل لجزيء ثلاثي فوسفات نيكليوتيد النيكوتين والآدنين، أو NADH، وليس الماء. وفي هذه المرة،

يستخدم الأوكسجين لسحب الإلكترونات خارجًا في الطرف الآخر، بدلًا من $NADP^+$، ويُستهلك الأوكسجين في هذا التفاعل.

$$O_2 + 4\ \text{electrons} + 4H^+ \longrightarrow 2H_2O$$

مما يعلل احتياج النباتات للأوكسجين أيضًا.

إلا أنه ما زالت هناك إمكانية لبعض الخلايا أن تُنتج الطاقة أحيانًا دون الحاجة إلى الأوكسجين، وتُسمى عملية إنتاج الطاقة الخالية من الأوكسجين «عملية التخمر»، ومع أنه غالبًا يُؤخذ مصطلح التخمر على أنه العملية المنتجة للكحول، فإنه واقعيًّا يشمل عمليات عديدة تعمل بدون الأوكسجين؛ فعلى سبيل المثال، عندما يحدث نقص في الأوكسجين في خلايانا العضلية، كما هو الحال عندما نمارس الرياضة بعنف، ولا يستطيع تنفسنا أن يتواكب وحاجتنا من الأوكسجين، فإن عضلاتنا يجب أن تعتمد على وسائل أخرى لإنتاج الطاقة لا تتطلب وجود الأوكسجين، والمنتج النهائي لأحد هذه الوسائل البديلة التي لا تعتمد على الأوكسجين هو نوع من الأحماض المعروف بحامض اللاكتيك. وفي حين يدخل حامض اللاكتيك في بنية الخلايا العضلية المحرومة من الأوكسجين، فإن الخلايا لا تزال أقل قدرة على القيام بوظيفتها، والنتيجة هي كلل وألم وإعياء. يعتمد الخمير على نوع آخر من توليد الطاقة الخالية من الأوكسجين الذي يكون الإيثانول الناتج النهائي عنه، ونحن نستفيد من هذا التخمر عند صنع الخمور وغيرها من المشروبات الكحولية.

ومع أن الهضم الخالي من الأوكسجين قد يكون مؤلمًا لنا، فثمة كائنات حية دقيقة تنمو في أجواء تعاني نقص الأوكسجين؛ فالبكتريا التي تُفسد الأغذية المُعلبة، من المحتمل أن تكون غير مُعقمة على نحو جيد، في غياب الأوكسجين، وتتسبب مخلفاتها الغازية في حدوث انتفاخ لعلب الأغذية الفاسدة. إلا أن توليد الطاقة بدون الأوكسجين لا يعتبر كفئًا، إلى جانب أن أنماط الحياة التي تعتمد على الطاقة الخالية من الأوكسجين فقط ليست بالكثيرة، وثمة وجهة نظر تقول إن الديناصورات عاشت كل هذا العمر المديد بسبب توافر الأوكسجين في الهواء في ذلك الوقت، علاوة على وجود بعض الأدلة الجيولوجية على أن مستويات الأوكسجين قد تناقصت بالتدريج، ومن الواضح أننا الآن على وشك

الاقتراب من الحجم الصحيح كي نستخدم كمية الأوكسجين الموجودة، لكنه إذا تناقص مرة أخرى، فإن الأمور ستئول إلى غير ذلك.

ستستمر الحياة، لكن المخلوقات الموجودة ستشبهنا أقل من الحد الذي نشبه به نحن الديناصورات، وأقل مما تشبه الديناصورات الكائنات أحادية الخلايا من حيث أتت، إلا أن هذه الكائنات أحادية الخلايا تضطلع بمسئولية إنتاج الأوكسجين في الأجواء الذي تراكم في آخر الأمر إلى الحد الذي سمح بالحياة متعددة الخلايا، من ثم قد تكون هذه الدورة تكررت أخيرًا، وقد اعتدنا أن نفكر بطريقة خطية في ضوء البداية والنهاية، لأننا لا نقتنع إلا بهذه الطريقة، إلا أن الحياة غير مقيدة بمثل هذا، فالحياة تميل إلى تقدير الدوائر، والحياة تتعاقب في الارتفاع والانخفاض.





تجربة ١٢: كيف تنمو حديقتك؟

«أشعر أنني كتلة محببة من بلورات لا شكل لها.»

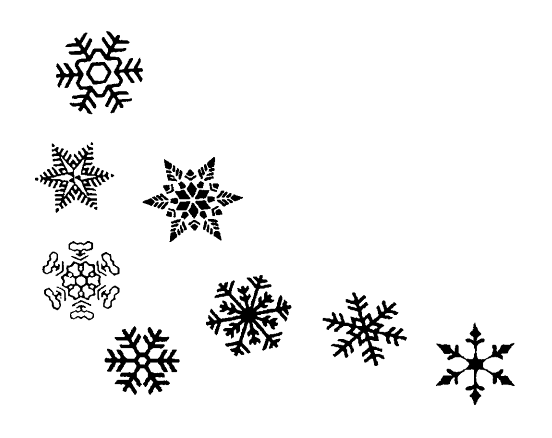
استشهد لافكاديو هرن بهذه الجملة في
كتابه «الحياة والزمن»، لافكاديو هرن ١٩٠٠

لا تعد كل من الحالتين الغازية والسائلة، الأشكال الوحيدة للمادة اللتين يصاحبهما تفاعلات مثيرة للكيميائي، فالحالة الصلبة للمواد مع أنها تبدو بلا حراك أو حياة تمامًا، فإنها تحظى بجانب حيوي أيضًا.

ارتد نظارة الأمان الواقية. انتق وعاءً صغيرًا من البلاستيك أو الزجاج مشابهًا لوعاء الحبوب ليكون كالحديقة الخاصة بك، وتأكد من أنك لست في حاجة إليه ويمكنك إلقاؤه بعد الانتهاء من التجربة. ضع هذا الوعاء داخل وعاء أكبر أو صندوق أو حاوية أو على فرخ كبير من ورق الصحف أو رقائق الألمنيوم، ومن ثم أي بلورات تتساقط من حديقتك ستظل في الداخل مما يسهل عليك عملية التنظيف. اختر مكانًا لحديقتك يمكن لها فيه أن تبقى بلا إزعاج أو عائق وحيث لا تزعج رائحة النشادر أي أحد.

خذ إسفنجة مطبخ صغيرة، بللها ثم اعصرها بحيث تكون رطبة فقط. قطع الإسفنجة الرطبة على شكل مكعبات صغيرة وضعها في الحديقة، وانثرها بالتساوي في القاع، بحيث يكون هناك ما يقرب من نصف بوصة (١ سم) مسافة تفصل بين كل منها وبين جوانب الوعاء، ويتوقف عدد المكعبات على حجم الوعاء، فغالبًا سيأخذ الوعاء ثلاثة إلى خمسة مكعبات. أنت الآن مستعد لتضيف المواد التي ستشكل حديقتك.

خذ زهرة غسيل، والنشادر المستخدمة في المنازل، وملح طعام، وماء مقطرًا وهو مقترح شراؤه ضمن «قائمة المشتريات والمحاليل»، ثم أحضر ملعقة بلاستيكية. أضف ملعقتي شاي من زهرة الغسيل، وماء مقطرًا، والنشادر إلى الوعاء، وإذا شئت يمكنك أن تضيف لونًا بإضافة قليل من قطرات ألوان الطعام مباشرة على مكعبات الإسفنج، ولا تعتبر المقادير الدقيقة أمرًا حيويًّا للناتج هنا. رج الوعاء بخفة. انثر ملعقتي شاي من ملح الطعام فوق المكعبات، ولا تنزعج إذا وقع بعض الملح على المحلول الذي في قاع الوعاء. اترك الوعاء ساكنًا دون إزعاج طيلة الليل. انثر في اليوم التالي ملعقتين من ملح الطعام أيضًا على المكعبات واترك الوعاء لليلة أخرى. في اليوم الثالث يجب عليك أن تكرر إضافة كافة المكونات التي استعملتها في اليوم الأول، مراعيًا ألّا تُزعج نمو أي بلورات تكونت. نجد أن الملح قد برز إلى الكثير من البلورات الرقيقة في هيئة أصابع اليد، ويمكنك أن تعزز جولتك عبر الحديقة باستخدام عدسة مكبرة للنظر إلى البلورات.



الفصل الثاني عشر

كيمياء البلورات النقية

«لقد كان الطريق شاسعًا ومستقيمًا وبراقًا مثل البلورة، وينتهي بالشمس.»

فيودور دوستوفسكي «الإخوة الأعداء» ١٨٨٠

يمكن أن تستحضر كلمة كيمياء إلى الذهن صورًا لمواد لزجة وأشكالًا كروية وسوائل هلامية، وليس صورًا لتركيبات بارعة ومتقنة ومنظمة، لكن المواد الكيميائية في الحالة الصلبة يمكن أن تكون ذات تماثل رائع وتركيبات شديدة الكياسة، ويتضح التماثل الجميل والرياضي في تجربة بلورات الحديقة، وتظهر حتى في حبيبات الملح المتماثلة، وهنا سوف نفحص القوى التي تُحدث مثل هذا التركيب والظواهر الأخرى المرتبطة بالحالة الصلبة للمادة.

وحتى هذه اللحظة، لم نخض بعد في الطبيعة الثلاثية الأبعاد للجزيئات لأننا لم نكن في حاجة إلى هذه الدرجة المزيدة من التعقيد، ومن الناحية التاريخية، كان هذا التدرج الطبيعي للأحداث أيضًا، ليس إلا. ولم يكن حتى منتصف القرن التاسع عشر، أي ما يقرب من نحو نصف قرن بعد نظرية

دالتون للذرات ما أصبحت مقبولة بشكل عام، لم يكن عدد كبير من العلماء الأوربيين قد بدءوا التصارع مع احتمالية الترتيب ثلاثي الأبعاد لذرات الجزيئات وعواقبه.

وتأتي أحد أجزاء الدلائل الأولى — التي قد تمثل شيئًا مهمًّا للطريقة التي ترتب بها الذرات نفسها في المركبات — من اكتشاف الإيسوميرات، وهي الجزيئات التي لها نفس الصيغة الكيميائية ولكن ذات خصائص مختلفة، وكما ناقشنا من قبل، كل من كحول الحبوب والمثيل إثير لهما نفس الصيغة الكيميائية، C_2H_6O، لكن أحدهما سائل في درجة حرارة الغرفة والآخر غاز، ورائحتهما أيضًا مختلفة بوضوح، ومع ذلك فلا يُرجح أن تستنشق أيًّا منهما، حيث يمكن أن تسبب الغازات المتصاعدة منهما — في تركيزات معينة — الموت. ويتكون كل من الجليكوجين والسليلوز من سلاسل طويلة من جزيئات الجلوكوز المرتبطة معًا، لكن في حين يخزن الجليكوجين الطاقة في جسم الإنسان، فإن الرابطة في السليلوز الأيسومر، هي تلك الرابطة التي لا يستطيع الجهاز الهضمي في الإنسان أن يكسرها إلى غذاء، ففي أثناء الندرة التي حدثت في محصول البطاطس بأيرلندا منتصف القرن التاسع عشر، اضطر الناس أن يأكلوا العشب، لكنهم مع ذلك ماتوا جوعًا على كل حال لأنهم لم يستطيعوا أن يهضموا سلاسل الجلوكوز الموجودة في العشب.

وفي القرن التاسع عشر، حتى عندما عُرف أنه من الممكن أن يكون مركبان لهما نفس الصيغة لكن ترتيب ذراتهما مختلف، لكن الأمر استغرق بعض الوقت حتى أُعترف بشكل عام أن الزوايا ثلاثية الأبعاد والفراغ بين الذرات يمكنهما أن يؤثرا على تصرف الذرات الكيميائي. وقد اكتشف لويس باستير، منقذ صناعة الخمور في فرنسا في القرن التاسع عشر، أن ملح حامض الطرطريك الموجود في الخمور، يوجد في شكلين بارزين.[١] ويمكن فصل هذين الشكلين بحذر، بملقاط إذا رُئِيا بعدسة مكبرة. ولأن البلورتين هما حامض الطرطريك، فإن العناصر في الجزيئات تكون مرتبطة بنفس الترتيب، من ثم يكمن الاختلاف في الطريقة التي رُتِّبت بها الروابط في الفراغ.

إلا أن هذا التفسير المنطقي لم يلق الاستحسان العالمي الفوري عندما طُرح لأول مرة، وقد نُعت المؤيدون للفكرة بالحماقة، أو بما هو أكثر من ذلك، وكان عليهم تحمل هذا النقد، وبمرور الوقت، اتضحت صحة أقوالهم. ولتفسير

تركيب البلورات التي لُوحظت في الملح والسكر وبلورات الحديقة سنتعرض الآن لطبيعة الذرات والجزيئات والأيونات ثلاثية الأبعاد في عالمنا ثلاثي الأبعاد.

وكي نفهم القوى الكامنة وراء تركيب الجزيئات ثلاثي الأبعاد، نحتاج أن نرجع إلى الوراء لتشبيه استخدمناه من قبل؛ قلنا إن نواة الذرة، لكونها مؤلفة من بروتونات ونيترونات، فإن كتلتها تعادل كتلة الإلكترونات المحيطة بها آلاف المرات، وقد تابعنا القول بأن الإلكترونات تشبه البرغوث الذي يقف على الفيل، لكن مع أن البراغيث صغيرة جدًّا فإنها تؤثر بالطبع علي سلوك الفيل. ويعتبر التركيب ثلاثي الأبعاد للجزيء أحد الأماكن التي تشعر بهذا التأثير، ويرجع التركيب ثلاثي الأبعاد للبلورات إلى حقيقة واحدة أساسية، ألا وهي: أن الإلكترونات تميل إلى أن توجد في أزواج، وهو تزاوج أحادي على نحو صارم، وما إن تتزاوج الإلكترونات حتى تحتفظ بمسافة لائقة بينها وبين الأزواج الأخرى، ويُسمى هذا بلغة الكيميائيين «تنافر أزواج الإلكترونات». ولكي ترى كيف يحدث هذا في الجزيئات، تأمل معي في الماء.

كما قد تتذكر من مناقشتنا حول القوى البينجزيئية، يأخذ جزيء الماء شكل حرف V الذي يقع الأوكسجين فيه عند مركز حرف V والهيدروجين عند كل طرف، ولم نناقش في ذلك الحين لماذا يأخذ الماء هذا الشكل، لكننا نستطيع أن نتناول هذا الأمر الآن. كما يتبين من الجدول الدوري، المُبين في شكل ١-١٢-١، يملك الأوكسجين ثمانية إلكترونات حول نواته لكن اثنين منها يوجدان في الطبقة الأولى القريبة منه، ويوجد في الطبقة الخارجية ستة إلكترونات، وهي إلكترونات التكافؤ، التي تؤثر فعليًّا في التصرف الكيميائي للذرة، وكما قد نتذكر أن الأوكسجين يكون في حالة السعادة عندما يكتسب إلكترونين آخرين ليملأ طبقته الخارجية، ويملك الهيدروجين إلكترونًا واحدًا ويسعى نحو الحصول على إلكترون آخر ليملأ طبقته الأولى، كما يمكن أن يتحدد عن طريق استشارة الجدول الدوري الموضح في الشكل ١-١٢-١ مرة أخرى.

يستخدم الكيميائيون وسيلة بصرية تُسمى «أشكال لويس ذات النقطة» (نسبة إلى الكيميائي الأمريكي جي. إن. لويس) لتوضيح الطريقة التي ترتب بها النوى في الجزيئات نفسها بحيث يكون أكبر قدر ممكن من النوى محاطًا بطبقات مُمتلئة بالإلكترونات.[٢] تبدأ هذه الوسيلة بوضع نقطة لكل إلكترون

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Act	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	•	•	•						

*Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
†Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

شكل ١-١٢-١: يحتاج الهيدروجين القائم في بداية الصف الأول إلى إلكترون آخر ليملأ طبقته، ويحتاج الأوكسجين الواقع بعد اثنين من نهاية الصف الثاني إلى إلكترونين ليكمل طبقته.

تكافؤ (لذا سُمي بتركيب لويس النقطي) حول رمز العناصر، يمكن تقديم الهيدروجين والأوكسجين على النحو الآتي:

H· ·Ö·

في تركيب لويس النقطي هذا، يأخذ الهيدروجين نقطة واحدة لتعبر عن إلكترونه الوحيد، ويأخذ الأوكسجين ست نقاط لتعبر عن ستة إلكترونات تكافئه.

ويُسهل العرض بهذه الطريقة رؤية الطريقة التي تتحد بها ذرتا هيدروجين وذرة أوكسجين، فهما يشتركان في الإلكترونات من ثم تملك كل ذرة هيدروجين طبقة ممتلئة مكونة من إلكترونين ويملك الأوكسجين طبقة ممتلئة من ثمانية إلكترونات.

H :Ö: H

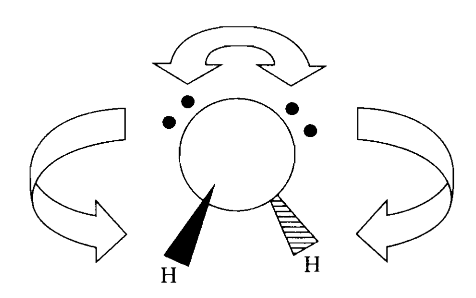
إلا أن هذا الترتيب لا يزال لا يشبه كثيرًا شكل حرف V. ولكي نفسر كيف يأخذ الجزيء شكل حرف V، من الضروري إثارة تنافر زوج من الإلكترونات،

وإثارة انشغالات طبقات التكافؤ أيضًا من خلال نظرية رئيسية تناسب تمامًا ما نريده تُسمى نظرية «تنافر زوج الإلكترونات في طبقة التكافؤ» أو (ت ز ا ط ت). وفي هذه النظرية تُصنف الإلكترونات على أنها أزواج مترابطة بمعنى أنها إلكترونات توجد في روابط، أو تُصنف على أنها أزواج وحيدة (أو أزواج غير مترابطة) بمعنى أنها أزواج إلكترونات لا توجد في روابط، فعلى سبيل المثال، تعتبر الأزواج المترابطة، أزواج الإلكترونات المتشاركة بين الأوكسجين والهيدروجين في جزيء الماء الموضح سابقًا عن طريق تركيب لويس النقطي، أما الأزواج الوحيدة فهي تلك الأزواج التي توجد على جانبي ذرة الأوكسجين التي لا تدخل في عملية المشاركة، وهذه هي أنماط نظرية تنافر أزواج الإلكترونات في طبقات التكافؤ:

- أزواج وحيدة (أزواج غير مترابطة) تتنافر بعضها مع بعض.
- أزواج وحيدة (أزواج غير مترابطة) تتنافر مع الأزواج المترابطة، وهي أقل تنافرًا من السابقة.
- تنافر الأزواج المترابطة مع الأزواج المترابطة، وهي أقل تنافرًا من السابقة أيضًا. ويمكننا فهم هذه المبادئ من تحليل شكل جزيء الماء كالآتي:

ترغب جميع أزواج إلكترونات، سواء تلك التي توجد في روابط أو الوحيدة، في أن تتباعد بعضها عن بعض بقدر المستطاع، إلا أن الزوجين الوحيدين الموجودين في الأوكسجين يرغبان في ذلك بأقصى درجة. لذا تتباعد الأزواج الوحيدة، وتجبر بهذا الصنيع أزواج الهيدروجين المترابطة على أن تقترب من بعضها كما هو موضح في شكل ١-١٢-٢.

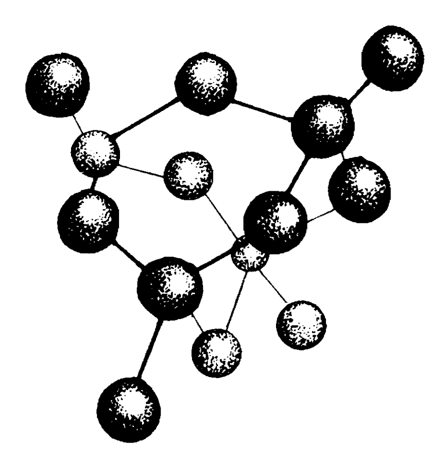
إلا أن شكل ١-١٢-٢ لا يزال لا يعرض سوى بعدين حيث إننا اضطررنا أن نرسمه على ورقة ثنائية البعد. ولكي نصور الموقف في شكل ثلاثي الأبعاد، جرب استخدام البالونات: اختر بالونات لها نفس الشكل والحجم لكن بلونين مختلفين مثل الأحمر والأخضر. انفخ بالونتين من البالونات الحمراء وبالونتين من البالونات الخضراء حتى يصلا إلى نفس الحجم ثم اربط أطرافها كلها معًا (سيسهل عليك عمل ذلك إذا لم تنفخ البالونات على نحو زائد). ينبغي أن ينتهي الحال بشكل عنقودي ثلاثي الأبعاد، بحيث تخرج البالونات عنوة في أربعة اتجاهات مختلفة، ويُسمى الشكل الذي قمت أنت بتصميمه ثلاثي الأبعاد «الشكل الرباعي الأوجه».



شكل ١-١٢-٢: أن الإلكترونات في الأزواج الوحيدة تتنافر بعضها عن بعض أكثر من تنافر الإلكترونات في الأزواج المترابطة، من ثم تنبسط الأزواج الوحيدة وتتقارب أزواج الهيدروجين معًا، مما يجعل الماء يأخذ شكل حرف V.

الآن انفخ أربع بالونات أخرى (لكن اجعل كل البالونات الحمراء بنفس الحجم وأكبر من البالونات الخضراء). وعندما تربطها معًا مثل المرة الأولى تحصل على الشكل الذي يجسد جزيء الماء: فالبالونات الأكبر حجمًا سوف تُقصى نفسها بعيدًا بأقصى درجة عن الأخرى وتحصر البالونات الأصغر معًا. وبأخذ الشكل ثلاثي الأبعاد للجزيئات كما هو محدد من نظرية (ت ز ا ط ت)، والمقايضة بين الانجذابات الأيونية والروابط التساهمية وقوى الجذب البينجزيئية، بعين الاعتبار، يعلل التركيب ثلاثي الأبعاد للبلورات.

وتعتبر بعض البلورات أيونية، بمعنى أن الشبكات الأيونية الطويلة تتماسك معًا بانجذابات أيونية. ويعتبر كلوريد الصوديوم أو ملح الطعام ملحًا أيونيًّا. وفي بلورات كلوريد الصوديوم، يُحاط أيون الصوديوم بستة أيونات كلور — أيون من فوق وأيون من أسفل وأيون في كل نقطة من اتجاهات البوصلة — ويُحاط كل أيون كلور بستة أيونات صوديوم بنفس الطريقة. ومن ناحية أخرى، تتماسك بلورات السكر معًا عن طريق قوى الجذب البينجزيئية. وهي تنسجم بعضها مع بعض لتحقيق الدرجة القصوى من التوازن بين قوى التجاذب والتنافر، مما يُفضي إلى تركيب من البلورات منظم إلى حد ما. والفلزات النقية هي مجموعات كبيرة من الذرات المتطابقة، من ثم لا يمكن أن يشوب الترابط بين أي زوج أي اختلاف عن الترابط بين الزوج الذي يليه. وعليه، يستحيل أن نقول إن إلكترونات الترابط الخارجية تنتمي إلى أية ذرة بعينها، وينعكس هذا الاستقلال على التوصيل الكهربي الرائع للفلزات، فعند

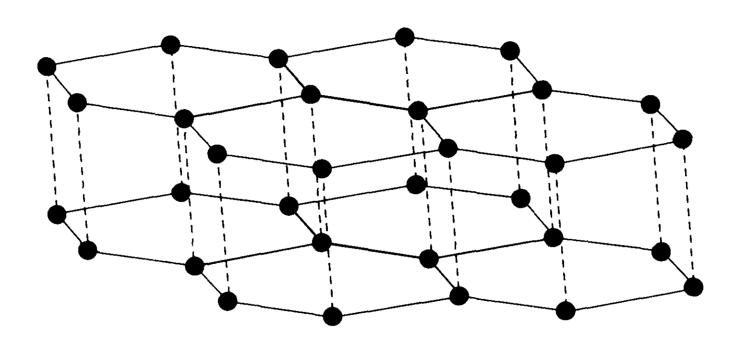


شكل ١-١٢-٣: الماس هو شبكة من ذرات الكربون المرتبطة تساهميًّا في ترتيب رباعي الأسطح لكل ذرة كربون.

توصيلها بأي مصدر كهربائي مثل بطارية، فإن الإلكترونات تنتقل بحرية من إحدى الذرات إلى الأخرى في تيار.

وتشكل المواد الصلبة التي ترتبط بروابط تساهمية مثل الكوارتز والماس والجرافيت، تُشكل فئة أخرى من البلورات، والكوارتز هو سلسلة متواصلة من ثاني أكسيد السليكون المرتبط في ترتيب بلوري منتظم، والرمل هو خليط من الكوارتز والصخور الأخرى. والزجاج هو كوارتز صلب كُسي بمادة معدنية وأُعيد تصليبه لكن دون أن يأخذ نفس الشكل البلوري المنتظم قبل عملية الإذابة، بنفس الطريقة التي تحدث مع الزبد عند إذابتها حيث تأخذ نفس شكلها قبل الذوبان بعد أن تبرد وتتجمد مرة أخرى، ومن المعروف أن الزجاج يتكون بشكل طبيعي في أثناء البرق الذي يحدث على الرمال.

والماس هو شبكة من ذرات الكربون، فكل جزء من الكربون يرتبط بالجزء الذي يليه برابطة تساهمية في ترتيب رباعي الأسطح، كما هو موضح في شكل ١-١٢-٣. أما الجرافيت الصلب الذي ينتمي إلى نفس عائلة الماس فهو مصنوع أيضًا من الكربون النقي، لكن في حالة الجرافيت يرتبط الكربون في أفرخ تنزلق بعضها فوق بعض، كما هو موضح في شكل ١-١٢-٤. لكن الفرق بين الماس والجرافيت في الخصائص وفي السعر يعتبر كبيرًا بشكل مذهل، يعبر الجرافيت فعليًّا عن الشكل الأكثر ثباتًا للكربون الصلب، كما سنناقش بعد



شكل ١-١٢-٤: الجرافيت هو كربون مرتبط تساهميًّا في شكل أفرخ سداسية.

قليل، إلا أن الفترة الزمنية المطلوبة لحدوث عملية التحويل هي فترة مديدة امتداد عمر كوكب الأرض تقريبًا.

وثمة نوع جيد من الخلط بين الجزيئات التي ترتبط برابطة أيونية والجزيئات التي ترتبط برابطة تساهمية يمكن أن نجده في أملاح الأيونات متعددة الذرات. والأيونات متعددة الذرات هي مجموعات مشحونة تحتوي على العديد من الأنواع المختلفة من النوى الذرية مثل CO_3^{2-}، وهو أيون أصبح مألوفًا لدينا من بعد تجارب بيكربونات الصودا. وبيكربونات الصودا هي بيكربونات الصوديوم وصيغتها الكيميائية هي $NaHCO_3$. وثمة أيون متعدد الذرات آخر قد تعاملنا معه لكن ليس بشكل صريح هو أيون الكبريتات SO_4^{2-}. وكما ذكرنا من قبل، الرقم الذي يُكتب أعلى الرمز -2، الذي يُقرأ «سالب اثنين»، يُشير إلى أن الأيون له شحنتان سالبتان. ويتكون ملح كبريتات النحاس — المركب الذي يعطي لون المحلول الأزرق الجميل الذي استخدمناه في تجارب عديدة — من أيون النحاس وأيون الكبريتات. ويعتبر نوع الرابطة التي توجد في كل من أيونات الكربونات والكبريتات رابطة تساهمية، أما التي توجد بين الأيونات الموجبة (سواء الصوديوم أو النحاس) والأيون متعدد الذرات فهي رابطة أيونية. وقد اسْتُخْدِمَت هذه الأملاح البلورية للأيونات متعددة الذرات في منتصف القرن التاسع عشر للإجابة على التساؤل القائم منذ زمن بعيد وهو: كيف يمكن قياس وزن الذرة؟

من الواضح أن السؤال غاية في الصعوبة، لكن لطالما كان سؤالًا غاية في الأهمية أيضًا، وتنبع أهمية هذا السؤال من حقيقة أن الذرات تتفاعل بمعدل

ذرة واحدة إلى ذرة واحدة، فإذا أردت أن تفسر أفعالها فأنت على مقربة من أن تحسب وزنها، لكنها غاية في الصغر حتى إنك لن تستطيع، كل ما يمكنك فعله هو أن تقيس مجموعة كبيرة من الذرات معًا مثل ملء ملعقة طعام أو ملء كوب، ثم احسب كم عدد الذرات الموجودة في ملء الملعقة أو ملء الكوب، لكن لكي يتثنى لك معرفة عدد الذرات التي في الملعقة أو في الكوب، يجب عليك أن تعرف كتلة إحدى الذرات. بدأ العلماء يعملون بالطريقة المطلوبة في هذا الأمر عندما أدركوا أن ثمة معادن مختلفة تكوِّن أملاح الكبريتات وأن جميعها تتبلور بنفس الطريقة تقريبًا. وكيف يمكن أن يفيد هذا في موضوعنا؟ إن هذا الأمر يجب أن يرتبط بالكثافة.

والكثافة كما قد ذكرنا من قبل، هي مقدار كتلة المادة لكل وحدة من الحجم، وتتنوع الكثافة من مادة إلى أخرى: فعلى سبيل المثال، تختلف كثافة حقيبة مملوءة بالريش بشكل ملحوظ عن كثافة الحقيبة ذاتها عندما تكون مملوءة بالطوب. ومن إحدى ميزات الكثافة التي تجعلها مفيدة للغاية أنها لا تحتاج إلى كمية معينة كي يتثنى لك قياسها، فكثافة الطوب لا تتغير إذا نظرت إلى قالب طوب واحد أو إلى حائط طوب بأكمله، وكثافة ملء ملعقة من ملح الطعام هي نفس كثافة ملء كوب من ملح الطعام؛ لأن الكثافة لا تعتمد على حجم عينة المادة، ولقياس الكثافة لا تحتاج سوى قياس كتلة حجم معين.

أما بلورات الكبريتات، فلقد افترض أن كل قالب من البلورات يحتوي على نفس العدد من وحدات الكبريتات، ووحدات المعدن سواء كان المعدن نحاسًا أو مغناسيوم أو ما كان. من ثم ينبغي أن يكون أي اختلاف في الكثافة يرجع إلى اختلاف في كتلة المعدن، وعند تحديد كتلة أحد هذه المعادن يمكننا أن نحدد الأوزان النسبية للعناصر الأخرى. ولقد كانت هذه الفكرة ملائمة ومفيدة في الوقت الذي استنبطت فيه، لكنها تطورت منذ ذلك الحين، فاليوم تُستخدم أشعة X لتحديد ترتيب الذرات وعددها في الحجم المعين من البلورات، وتكون النتائج التي نحصل عليها أكثر دقة.

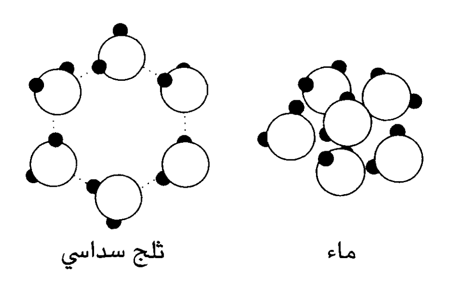
إلا أن تقنية أشعة X المستخدمة مع البلورات لا تكون هي نفسها المستخدمة في مجال الطب البشري أو في مجال طب الأسنان، ففي حالة الطب البشري أو طب الأسنان، يُسمح لأشعة X أن تتخلل الجسم وتكون الصورة الناتجة هي صورة لظل الغشاء الكثيف — أو العظام أو الأسنان — التي لا تتمكن أشعة X

من اختراقها. وتنظر أشعة X المعنية بالبلورات (تُسمى علم البلورات) في أشعة X المنعكسة بدلًا من أشعة X النافذة، وتحلل الأشكال في الأشعة المنعكسة.

وتعكس إلى حد ما البلورات أشعة X مثلما تعكس الأقراص المضغوطة الضوء المرئي، وينعكس هذا الضوء المرئي على المحزوزات الموجودة على القرص المضغوط بنفس الطريقة التي يتشتت بها الضوء إلى ألوان كثيرة معطيًا شكل قوس قزح على القرص. وتتصرف الطبقات المتعددة على البلورات ثلاثية الأبعاد بطريقة ما مثل شكل المحزوزات الصغيرة جدًّا الموجودة على القرص المضغوط، وتنعكس أشعة X على تركيبات البلورات البالغة الصغر وتكون نموذجًا على فيلم أشعة X. وبرؤية التفاصيل الدقيقة للشكل يمكننا أن ندرك حجم وحدة واحدة من البلورات وتركيبها، ونستخلص موقع الأجزاء والذرات والأيونات أو الجزيئات التي تكون البلورة من هذه المعلومات. وبمجرد معرفة حجم أصغر وحدة من البلورات وعدد الذرات التي تحتويه، يمكننا أن نحدد كتلة الجزء الواحد أو الذرة الواحدة أو الجزيء الواحد عن طريق الكثافة.

وبالطبع، ليس كل ما يلمع ذهبًا، وليس كل ما هو صلب بلورًا. ويُشار عامة إلى المواد الصلبة التي ليست بلورية إلى أنها لا شكلية (التي لا شكل لها). وتتضمن هذه المواد الصلبة المطاط والبلاستيك والشمع والزجاج مع بعض الجدل حول التحديد الفعلي لسمات هذه الفئة. ويعتبر المسمى «مواد صلبة لاشكلية» محاولة بشرية لتصنيف طبيعة المواد غير الطيعة، وتتميز المواد الصلبة اللاشكلية عن المواد الصلبة البلورية في أن الأولى ليست لديها نقطة ذوبان واضحة مميزة، في حين تحظى الثانية بنقطة ذوبان محددة تمامًا إذا كانت نقية، وعليه يعتبر حدوث عملية الذوبان عند النقطة المحددة الدقيقة مؤشرًا على نقاوة المادة.

ويعتبر الماء أشد المواد الصلبة إثارة لسببين: أولهما هو أنه يعتبر إحدى المواد الصلبة القليلة التي تتمدد عندما تتجمد بدلًا من أن تنكمش، ويعلل هذا التمدد سبب طوفان الثلج على سطح مشروباتنا، فالماء الصلب المتمدد أقل كثافة من الماء السائل — فهو يملك عددًا أقل من الجزيئات لكل وحدة من الحجم، وسبب هذا التمدد هو الرابطة الهيدروجينية، فعندما يتجمد الماء، يصل إلى ذروة متعته عندما يصطف الأوكسجين مع جيرانه من الهيدروجين، مثل ألعاب تنكر تويز التركيبية التي تُركب بعضها في بعض، والتنكر تويز هي مجموعة



شكل ١-١٢-٥: الثلج السداسي هو الأساس الذي يُبنى عليه تكوين القشرة الثلجية.

من العصي المصنوعة من الخشب التي تُجمع معًا عن طريق موصلات وتكوِّن أشكالًا عديدة (والطواحين الهوائية والمنازل هي أمثلة عامة ومفُضلة) فهي تُوضع كقطع منفصلة في صندوق ولا تأخذ مكانًا كبيرًا داخل هذا الصندوق، لكن عند تركيبها وتجميعها في تركيبات جسرية كبيرة، فإنها تأخذ الكثير من الفراغ. ولأن جزيء الماء يأخذ شكل حرف **V**، وبسبب حاجته لأن يصطف في الرابطة الهيدروجينية القصوى، فإن الماء يتصلب شاغلًا فجوات كبيرة تُملأ طبيعيًّا في الحالة السائلة التي تتسم بحرية الحركة (انظر شكل ١-١٢-٥).

يتمدد الماء عندما يتجمد بسبب الفجوات، ويسبب تمدد الماء عند تجمده تحطيم الأرصفة في فصل الشتاء وهو ما يعد جزءًا من خطة الطبيعة لتفتيت الصخور إلى تربة. ويكون الماء مخادعًا إلى درجة أنه يستطيع أن يستوفي احتياجات الرابطة الهيدروجينية بأشكال بلورية مختلفة عديدة، وأحد أشهر هذه الأشكال هو التركيب السداسي الذي يعطى القشرة الثلجية تماثل الأضلاع الستة.

وتتكون القشرة الثلجية عندما تضرب جزيئات ماء سطح البلورات الصغيرة، التي تنمو إلى تركيب سداسي الأذرع حيث إن الجزيئات التي تضرب أطراف البلورة تفضل أن تلتصق بها، فتبرز الحافة إلى الخارج وتجعل الجزيئات الطليقة تعلق بها بنفس الطريقة التي تعلق بها الحطام المتطايرة في غصن ناتئ نحو نبع مياه.

وتعتبر الأسطح كائنات مختلفة عن الأجسام التي تحوي هذه الأسطح، فعلى سبيل المثال، تشكل قطرة المياه نفسها في شكل كرة وذلك لأن جزيئات الماء الموجودة بداخل قطرة الماء تحظى بجميع فرصها في تكوين رابطة هيدروجينية

وتكون في حالة امتلاء، في حين أن جزيئات الماء التي توجد على السطح تملك بعض الأطراف الهيدروجينية غير الممتلئة حيث ينقصها الرفيق الأوكسجيني من الجزيء المتاخم والعكس صحيح. ويُحدث هذا الموقف توترًا يُسمى «التوتر السطحي»، ويكون رد فعل النظام الطبيعي لتقليل هذا التوتر هو أن تشكل القطرة نفسها في شكل كرة، يعمل شكل الكرة على تقليل مساحة السطح إلى أقصى درجة، وبذلك يقلل عدد الجزيئات المعرضة للهواء ومن ثم للتوتر السطحي. لا تملك المواد الصلبة القدرة على أن تلف نفسها في شكل كرة، من ثم لا يُعبر دائمًا عن الموقف المتفرد لأسطح المواد الصلبة بشكل مأساوي، لكن مع ذلك تختلف أسطح المواد الصلبة أيضًا عن جسم المادة، وله تفاعل خاص أيضًا.

وأكثر الأمور الشائعة التي تهمنا فيما يتعلق بالأسطح التي نتعرض لها في حياتنا اليومية هو جعل الأشياء تلتصق بالأسطح عندما تريد أنت ذلك، وجعل أشياء لا تلتصق بالسطح عندما لا تريد أنت ذلك، وغالبًا تستخدم المواد اللاصقة أو الغراء لجعل المواد تلتصق بالأسطح، ولولا هذه المواد الرائعة لما حظينا ببعض الأشياء الضرورية بكل هذا التنوع مثل الخشب الرقائقي (خشب مصنوع من طبقات رقيقة مغراة) أو لما استطعنا لصق الكتب والمذكرات، ولا كان لدينا الكيمياء القديمة قدم الزمان. يُصنع الغراء في الأصل من بروتين الحيوانات، مما يعنى أنهم كانوا فعلًا يرسلون الأحصنة الكبيرة في السن إلى مصانع الغراء. وثمة ارتباط بين كلمة غراء وكلمة الجلوتين، وهي مادة لزجة تُستخرج من القمح والدقيق الذي تعمل عجينة لزجة كافية لعمل الكرة وعمل الماكمية التي هي إحدى العضلات التي تحرك عظم الفخذ. وقد ترجع قدرة نوع معين من الغراء على اللصق إلى الرابطة الكيميائية أو قوى الجذب البينجزيئية، أو كليهما معًا. ويعمل بعض الغراء أفضل من الآخر بناء على أصل المادة — هل هي مادة حيوانية أو معدنية أو نباتية — حيث إنه يُستغل نوع الرابطة أو الانجذاب، ويُرغب أحيانا في إلغاء تأثير الغراء أو إزالة الغراء، وفي هذه الحالة من الجيد أن نستخدم مادة تحشر نفسها بين الغراء والمادة المُلصقة بها لكسر روابط السطح، وغالبًا تفيد الزيوت مثل زيت الطعام في مثل هذا الأمر، يُستخدم الزيت لإزالة العلكة من معظم الأسطح، وذلك لأن الزيت يمكنه أن يكون غشاء على الأسطح، وفي الواقع يغير الزيت

خصائص روابط السطح، ويُصنف الزيت من ضمن مجموعة من المواد تُسمى «مخفضات التوتر السطحي»، وذلك بسبب تفاعلات السطح هذه التي يقوم بها الزيت.

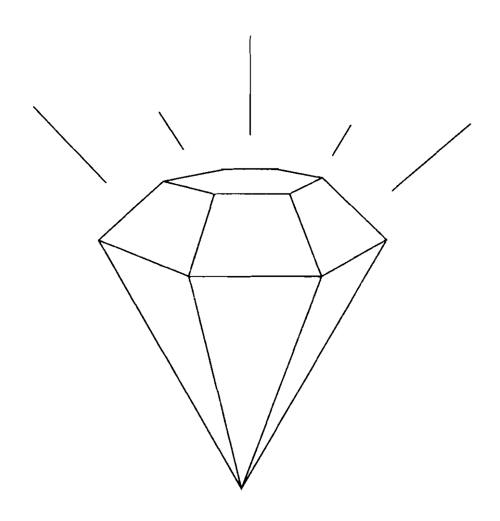
ومن أشهر هذه المواد الصابون؛ فهو يحتوي على سلسلة طويلة من الكربون تنجذب إلى المواد العضوية مثل القاذورات والدهون والأطراف الأيونية التي تنجذب للماء. فالصابون يمكنه أن يتدخل في انجذاب السطح، كما يفيد في إزالة الأشياء اللاصقة مثل الأشياء العالقة على خاتم الزواج أو السدادات اللاصقة في الزجاجات. تعد مواد التشحيم أيضًا المستخدمة لتشحيم الماكينات من المواد الخافضة للتوتر السطحي لأن مواد التشحيم تتدخل في الانجذاب الحادث بين الأجزاء المعدنية العارية.

وتطرح الأسطح المسامية مشكلة مختلفة لأن مساحة السطح الفعلية، بما فيها الجزء الداخلي من المسام، تكون ضعف مساحة السطح الظاهرة عدة مرات. وعليه يعتبر السطح المسامي أصعب كثيرًا في تنظيفه، وقد يقاوم المحاولات المضنية التي تبذلها المنظفات لتنظيفه، وهذا العناد الذي تتسم به الأسطح المسامية هو الذي يجعل المواد الطبيعية مثل الخشب والعظم والأسنان ميالة لأن تجذب البقع إليها، وتتضمن الطرق الحديثة لإزالة البقع من الأسنان استخدام المواد الخافضة للتوتر السطحي كي تحتفظ بمادة مطهرة لطيفة لحماية الأسنان. ولأن كلًّا من العظام والأسنان والعاج تتشابه في تركيبها، فتُستخدم نفس المنتجات المبيضة للأسنان في تنظيف مفاتيح البيانو القديمة المصنوعة من العاج الطبيعي الملطخة (وغير القابلة للاستبدال).

وتعلل الخصائص المميزة للسطح أيضًا أداء العوامل المحفزة الصلبة، فغالبًا يعتمد أداء العامل الحفاز على قدرته في أن يوجه الجزيئات في الاتجاه المعين الذي سيسهل التفاعل، أما العوامل الفعالة في الحالة الصلبة أو السائلة فتكون الإصابة في الاتجاه الصحيح هي مسألة حظ، فإذا جرى توجيه الجزيء، الذي نهدف إلى توجيهه، في الاتجاه الذي نصبو إليه على السطح، فإن فرص حدوث مواجهة فعالة تتزايد.

ومواد التخمير هي نوع من العوامل المحفزة التي تسمح للكثير من التفاعلات أو مركبات النواتج أن تنمو على سطحها، وقد ذكرنا في مناقشتنا للحالة الغازية أنه يمكن استخدام مواد التخمير في إنماء المواد العضوية طويلة

السلسلة إلى الشمع والزيت. تستخدم مواد التخمير أيضًا في إنماء المنتجات البلورية مثل الماس.



على سبيل المثال: يبقي الماس للأبد (تقريبًا)

لقد اسُتخدمت العديد من المواد على مدى الدهر من المحار إلى تلك الأنواع التي اسُتخدمت كوسيلة للتبادل، إلا أن أكثر المواد الملائمة هي تلك المواد القابلة للتحمل التي يتوقف غلو قيمتها على مدى ندرتها وكذلك مدى الانتفاع بها، ويعتبر الذهب خير مثال على ذلك، وكذلك الأحجار الكريمة، ولاسيما الماس، وقد أسهمت قدرة الذهب على التحمل ومقاومته للصدأ في نفعه في الاستخدامات مثل استخدامه في عمل الأسنان وفي الوصلات الكهربية، وبالمثل، أسهمت قوة تحمل الماس في الانتفاع بهذا المعدن الخاص في قطع الأدوات مثل مثقاب الحفار والسحاجات.

وأفضى الطلب المتزايد على الذهب في أوروبا في العصور الوسطى، إلى محاولات فضولية ومبدعة عديدة لتصنيعه من معادن أكثر توافرًا مثل الرصاص والنحاس، وكما ذكرنا من قبل فإن هذه الصناعة التي تُسمى الخيمياء قد فشلت، إلا أنها عززت الكثير من المعرفة الجديدة الكافية عن التفاعلات الكيميائية حتى يتثنى لها الصمود كمرحلة هامة في تاريخ الكيمياء، وثمة طريقة وحيدة لتخليق الذهب صناعيًّا عن طريق تفاعل نووي، إلا أن تكلفة

هذه العملية تعتبر أضعاف أضعاف ثمن الذهب الذي تنتجه، إلا أن ثمة طرقًا عديدة لإنتاج الماس المُخلق منذ منتصف القرن العشرين النافع اقتصاديًّا.

تتضمن إحدى الطرق إزالة الهيدروجين من الميثان (CH_4، غاز المستنقعات) باستخدام الموجات الميكروئية المستحثة، في الحالة الغازية الخفيفة للغاية، لذا يتثنى لذرات الكربون المعراة من معظم الهيدروجين، أن تترسب على المادة الأساسية وتبدأ في بناء بلورات الماس، وكان الماس المتكون بهذه العملية في الماضي غاية في الصغر ولا يصلح إلا للاستخدامات الصناعية، لكن ازدادت جودة الأحجار الكريمة في الآونة الأخيرة. وعمليًّا، لا يمكن تمييز الماس الصناعي عن الماس الطبيعي لأن كليهما شكل بلوري من الكربون.

تصنيع الماس — بدلًا من استخراجه من المناجم — هل سيُبهت بريقه في عيون محبيه؟ على الأرجح، سيقلل هذا من بريقه بعض الشيء! لكننا نأمل يومًا ما أنه يمكن أن تُصنع مواد أشباه الموصلات ذات الخصائص الهامة على نفس الوتيرة من الماس المُخلق الأقل ثمنًا والأكثر نقاوة، وإذا وُجدت فائدة للماس في أدوات أشباه الموصلات، فإن هذا سيعطي معنى جديدًا تمامًا لرقائق الماس (رقائق تحوي دائرة إلكترونية متكاملة غالبًا توجد في الحاسوب).

ويُعزى الاهتمام بالماس سواء كان طبيعيًّا أو صناعيًّا إلى خصائصه المتفردة، التي يكون إحداها هو قدرته الواضحة على التحمل، لكن هل الماس غير قابل للتلف؟ ليس تمامًا، فكما ذكرنا في مناقشتنا حول برهان لافوازيه لبقاء الكتلة، أن الماس يحترق في وجود الأوكسجين عند تسخينه بما يكفي، وكما سنرى لاحقًا، أنه في العلوم كما في المواقف الاجتماعية ثمة أشياء غريبة تحدث عندما تتفاقم الأمور.





تجربة ١٣: الكمادات الساخنة والباردة

«حقول الطبيعة تأخذ وقتًا طويلًا في إعدادها وحرثها — وهي تشير إلى الكيمياء الدورية الساكنة: فالأطوار الزمنية الثابتة والبطيئة تتهادى خطواتها — والأسطح الخالية تنضج والمعادن النفيسة تكونت تحتها.»

والت وايتمان في كتابه «ورق العشب» ١٩٠٠

يجتاز حامض السيتريك في عديد من التفاعلات الكيميائية والكيميائية الحيوية، كما يتمتع بخاصية ذات نفع خاص لنا، فعندما يذوب حامض الستريك في الماء فإن المحلول يبرد. يتطلب حامض الستريك طاقة حرارية كي يذوب، وهو يسحب هذه الطاقة من البيئة المحيطة به، ويُطلق على العملية التي تتطلب طاقة حرارية لحدوثها «عملية ماصة للحرارة».

ولكي نبين هذا الأثر، ارتد نظارة الأمان الواقية ثم خذ علبه سندوتشات بلاستيكية وضع فيها نحو ملء ملعقتي شاي (١٠ مليلترات) من حامض السيتريك المقترح شراؤه في «قائمة المشتريات والمحاليل»، ثم ضع ملعقة طعام

(١٥ مليلترًا) من الماء في العلبة وأحكم غلقها. عند لمس العلبة ستشعر ببرودتها بسبب ذوبان حامض الستريك، وهذا الأثر يمكن ملاحظته عند بداية الذوبان، وكي يتثنى لك إجراء مقارنة جيدة، خذ علبة أخرى ولا تضع بها إلا ملء ملعقة طعام من الماء، فإنك ستجد أن العلبة التي تحوي حامض الستريك أكثر برودة بوضوح من العلبة التي بها ماء فقط. وإذا وجدت صعوبة في الحصول على حامض الستريك، حاول أن تستخدم بيكربونات الصودا، لن تكون البرودة عالية جدًّا، لكن يمكن ملاحظتها. يستخدم حامض الستريك في مخاليط المشروبات ذاتية التبريد المستحدثة.

ثمة عمليات عديدة أيضًا تنطلق فيها الطاقة الحرارية، تتضمن إحدى هذه التفاعلات ذوبان اللي في الماء. احذر من أن هذه العمليات تُطلق قدرًا كبيرًا من الحرارة، لذا ينبغي أن تستخدم كمًّا كبيرًا من الماء مع القليل فقط من بلورات اللي. تأكد أيضًا من ارتداء نظارة الأمان الواقية. املأ كوبًا كبيرًا سعته سعة كوبين (٤٨٠ مليلترًا) بكوب واحد (٢٤٠ مليلترًا) ماء. لا تستخدم علبة السندوتشات في هذه العملية حيث يصاحبها انطلاق حرارة، كما ذكرنا من قبل في مناقشتنا عن الحالة الغازية، تسبب احتجاز الهواء في العلبة كي يتمدد. إذا حدث التفاعل في علبة مغلقة، فإن الشدة الناجمة عن ضغط الهواء تسبب حدوث خرق في العلبة.

ضع برفق نحو نصف ملعقة بلاستيكية من بلورات اللي في كوب الماء، ثم قلب برفق، نجد أن كمية الطاقة الحرارية المنتقلة إلى الكوب بسبب هذه العملية تسبب دفء الكوب وهو ما نشعر به عند لمس الكوب من الخارج. مرة أخرى، يكون التأثير قويًّا في بداية العملية، يُطلق على العملية التي تولد طاقة حرارية «عملية طاردة للحرارة».

وتباع الكمادات الساخنة والباردة في العديد من متاجر بيع اللوازم الرياضية والصيدليات لعلاج ألم العضلات والإصابات أثناء اللعب، ومع أنها لا تُصَنَّع عادة باستخدام أي أملاح، إلا أن المبادئ الرئيسية التي تقوم عليها هي نفس تلك المستخدمة في التجربة السابقة.



الفصل الثالث عشر

عندما تسخن المواد

«أنت تعي جيدًا أن المركبات الكيميائية موجودة ... التي بمساعدتها يمكنك الكتابة على ... ورق ... ومن ثم لا تصبح الأحرف مرئية إلا عندما تخضع لفعل النيران. فالعملة المغموسة في الماء الملكي والمخفف بأربعة أضعاف وزنه ماء، يستخدم أحيانًا: وينتج لونًا أخضر خفيفًا. فالكتل المعدنية المُشكلة تحت الخبث عند صهر الكوبالت، التي تذوب في كحول النترات تعطي اللون الأحمر. وتختفي هذه الألوان على فترات زمنية متباعدة أو متقاربة بعدما تبرد المادة المكتوب عليها، إلا أنها تظهر مرة أخرى عند إعادة التسخين ... أنا أفحص الآن الجمجمة بعناية. لقد كانت حوافها الخارجية — حواف الرسم كانت أقرب ما تكون إلى حواف الورق — مميزة أكثر من الباقين. لقد كان واضحًا أن فعل السيل الحراري ناقص أو غير متساوٍ.»

إدجار آلان بو في قصته القصيرة «الحشرة الذهبية» ١٨٤٠

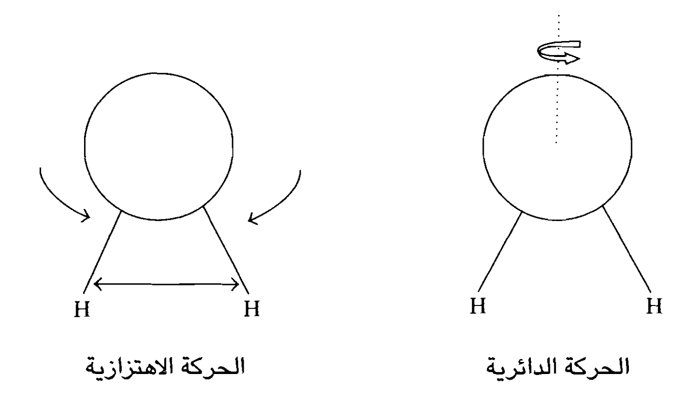
«لقد كان التعليم العملي الضئيل الذي اضطلع عليه فيما بعد بفضولية كبيرة للغاية، دورة دراسية في الكيمياء التي تعلم منها عددًا من النظريات التي شوشت ذهنه مدى الحياة.»

هنري آدمز في كتابه «تعاليم هنري آدمز» ١٩٢٠

لقد استعنا باقتباس من كتاب بو لأنه يشير إلى «السيل الحراري» وهو الاسم الذي كان يُطلق على الحرارة عندما كان لا يزال يُعتقد بأن الحرارة مادة، ويلمح الاستشهاد أيضًا إلى «فعل النيران». وقد ألحقنا الاقتباس الثاني، لأن «الديناميكا الحرارية» التي تختص بفهم واستخدام فعل النيران، يشوبها سمعة سيئة بأنها تشوش الأذهان. لكن فهمها حقًّا يستحق العناء: فالديناميكا الحرارية تتضمن نظرية غاية في القوة تمكن الكيميائيين من أن يتنبئوا هل سيحدث التفاعل الكيميائي، وإلى أي مدى سيحدث، وكمية الطاقة المنطلقة أو المستهلكة في أثناء عملية حدوث التفاعل، كل هذا قبل خلط مواد التفاعل معًا. ذلك لأن بعض التفاعلات تطلق طاقة كافية لصهر المعادن، لذا من الجيد أن نعرف كم الطاقة لنتوقع ذلك قبل بدء عملية التجريب العملي. ثمة تفاعلات أخرى تبدو جيدة من الناحية النظرية، إلا أنها لا تتفاعل إلا في حدود عند التطبيق العملي، وجيد أن نعرف هذه المعلومة أيضًا قبل الخوض في بحث عميق في مشروع ما.

وبسبب وجود قوى التنبؤ التي تمنحها الديناميكا الحرارية، تحظى نظرية الديناميكا الحرارية بمكانة بارزة في دراسة الكيمياء، ويمكن تلخيص آلية الديناميكا الحرارية في ثلاثة مفاهيم: هي الطاقة، والأنتروبيا، والطاقة الحرة. وسوف نبدأ بالطاقة ونكمل على ذلك.

يقوم فهمنا لطاقة الجزيئات على النموذج الجزيئي للمادة الذي يفترض أن جميع المواد في حالة حركة مستمرة. يبدو للوهلة الأولى أنه لا يمكن تصديق هذه الفكرة، ذلك لأن ثمة ملاحظات عديدة في حياتنا اليومية تخبرنا بأن بعض المواد هي مواد صلبة وثابتة وراسخة، فمن الصعب أن نقر أن رصيف الشارع المصنوع من الأسمنت، يكون على المستوى الجزئي في حالة التواء مثل تلك التي تصيب مجموعة من الديدان المتهيجة داخل علبة، لكنها تكون كذلك بالفعل. يصلح نموذج الجزيئات التي تكون في حالة حركة جيدًا لشرح لماذا



شكل ١-١٣-١: أن جزيئات الماء تكون في حركة مستمرة، فالجزيئات تهتز وتدور وتتحرك في خطوط مستقيمة تُسمى بالحركة الانتقالية. يُوضح هنا نمطا الحركة الدورانية والاهتزازية.

تتصرف الغازات والسوائل بطريقتها هذه، ومازال النموذج يسمح للأسمنت أن يتصرف بطريقته هذه.

فعليًّا، لا يصلح النموذج إلا عندما نقر بثلاثة أنماط مختلفة للحركة على الأقل، هذه الأنماط: هي الحركة الدورانية، والاهتزاز، والحركة الانتقالية. والحركة الانتقالية هي حركة خط مستقيم مثل التجول عبر غرفة، والحركة الاهتزازية هي الند الجزيئي للتلويح بذراعك لأعلى ولأسفل. والحركة الدورانية هي الند الجزيئي للدوران السريع في المكان حول محور، ربما مثلما يفعل المتزلج على الجليد. ولا تُتاح كل من الحركة الاهتزازية والحركة الدورانية إلا للجزيئات، فهي غير متاحة للذرات، ذلك لأن الحركة الدورانية والاهتزازية تُحدد في ضوء المركز عن طريق العناصر المترابطة.

فعلى سبيل المثال، يحوي الماء كلًّا من الحركة الدورانية والحركة الاهتزازية، ويمثل أحد الأنماط الاهتزازية الحركة التي تشبه حركة المقص التي تقوم بها ذرات الهيدروجين نحو بعضها وبعيدا عن بعضها أيضًا، أما الحركة الدورانية فيمثلها دوران الهيدروجين السريع حول محور خيالي من خلال الأوكسجين، ويوضح شكل ١-١٣-١ نمطي الحركة هذين.

وترجع أهمية أنماط الحركة هذه إلى أن الطاقة المُضافة إلى مجموعة من الجزيئات توزع نفسها بين الأنماط المتعددة للحركة، ويمكن استخدام قنديل البحر كتشبيه لذلك. عند وغز قنديل البحر، فإن قنديل البحر لن يرتجف

محدثًا حركة اهتزازية عنيفة فقط بل إنه يدور في مكانه كأنه يدور حول محور أيضًا. وفي عينة معينة، يُسمى مجموع متوسط الطاقة المعبر عنها في كل نمط «الطاقة الداخلية». كل جزء ضئيل من المادة له مقدار من الطاقة الداخلية، حتى إذا كان غاية في البرودة. تذكر أن مقياس كلفن للحرارة يحدد نقطة طاقة الصفر المطلق، التي تُسمى «الصفر المطلق»، لكن هذه النقطة ما هي إلا مجرد حد نظري يستحيل الوصول إليه عمليًّا.

وتعد درجة الحرارة مقياس الطاقة الداخلية للشيء، إلا أن استخدام درجة الحرارة كمقياس للطاقة الداخلية يفترض أن الطاقة موزعة على نحو متساو بين الأنماط المتعددة للحركة، ويعد هذا الافتراض غاية في الضرورة، ذلك لأن درجة الحرارة هي بالفعل المقياس الوحيد لأحد أنماط الحركة، وهو نمط الحركة الانتقالية. يسجل الترمومتر الطاقة المنتقلة إليه من الجزيئات التي تصدم سطحه، وثمة مواقف لا توزع فيها الطاقة المضافة بالتساوي على كل أنماط الحركة. وفي هذه الحالات من الممكن أن تضيف الطاقة دون إحداث تغيير في درجة الحرارة، ويعتبر غليان الماء مثالًا حيًّا على ذلك، حيث تُضاف الطاقة لكن الطاقة المضافة تتجه إلى تحرير الجزيئات من قوى التجاذب البينجزيئية، ومن ثم يمكنها أن تنتقل إلى الحالة الغازية، فنجد أن الترمومتر الذي يُوضع في وعاء به ماء في درجة حرارة الغرفة يسجل تغييرًا في درجة الحرارة لأن الطاقة تُضاف من الموقد وحتى الوصول إلى نقطة الغليان، ثم تستمر الطاقة المكتسبة في غليان الماء لكن تظل درجة الحرارة ثابتة عند ٢١٢° فهرنهايتي (١٠٠° سيليزية).

وعندما تُوضع مادتان في وضع اتصال حراري، تتدفق الحرارة من المادة ذات الطاقة الأعلى إلى المادة ذات الطاقة الأقل حتى يصل الاثنان إلى نفس المستوى من الطاقة. وتدفق الطاقة هو ما يطلق عليه من الناحية الفنية مصطلح «حرارة»، مع أنه في أي حديث عرضي يمكن أن يُستخدم المصطلح على نحو أوسع، فعلى سبيل المثال، عندما نشعر بالبرد، نحن نطلب من أحدهم أن يرفع درجة الحرارة، في حين أننا ينبغي أن نطلب منه أن يرفع درجة الطاقة الحرارية؛ فالحرارة هي الطاقة التي يجري تبادلها، والتي تتدفق من إحدى المواد إلى الأخرى أو التي تنتقل إلى المادة عبر الأشعة مثل أشعة الموجات الميكروئية القصيرة ومثل أشعة الشمس، ولهذا نحن لا نخطئ القول عندما

نقول إننا نشعر بالحرارة الآتية من الشمس أو نشعر بالحرارة عند لمس زجاجة بها ماء ساخن، لأنها تعتبر طاقة منتقلة إلى بشرتنا.

يعتبر العمل أيضًا نوعًا من انتقال الطاقة، عندما تعمل في نظام فإنك تعطي هذا النظام الطاقة على حساب طاقتك أنت الخاصة، ويمكن أن يأخذ العمل عدة أشكال: يمكنك الضغط على النظام (فيمكن أن يسبب نفخ إطار عجلة في ارتفاع درجة حرارتها)، ويمكنك أن تبث تيارًا كهربائيًّا عبر النظام (فينبغي تبريد أجهزة الحاسب الآلي حتى لا ترتفع درجات حرارتها)، ويمكنك أيضًا أن تستخدم الكيمياء للقيام بالأعمال، بعض الأمثلة على استخدام الكيمياء في القيام بالأعمال هي حرق البنزين لتشغيل السيارة أو هضم المواد الكيميائية التي نسميها الطعام حتى يتثنى القيام بكافة الأعمال.

نحن نستخدم الكيمياء للقيام ببعض الأعمال أو نقل الطاقة، يا ترى، من أين تأتي الطاقة اللازمة للقيام بمثل هذه الأعمال؟ تأتي هذه الطاقة من كسر وبناء روابط كيميائية.

يبدأ تكوُّن الرابطة عندما تتحد ذرتان معًا، وإذا كانت الظروف مواتية لحدوث الترابط — الظروف التي تتضمن رغبة كل ذرة في المزيد من الإلكترونات أو القدرة على وهب إلكترونات — تعيد الإلكترونات ترتيب نفسها في مدارات جزيئية بدلًا من مدارات ذرية منفصلة، وعندما يحدث هذا تنخفض طاقة النظام. وتعتبر الأقطاب المغناطيسية خير تشبيه لذلك، إذا اقترب قطبان مغناطيسيان مختلفان بعضهما من بعض، فإن الأمر يتطلب قدرًا من الطاقة حتى يحول دون ارتباطهما معًا، في حين أنه يقل القدر المطلوب من الطاقة حتى نترك لهما العنان في الانجذاب بعضهما لبعض، هكذا يكون الأمر مع الذرات التي ترغب في الارتباط. تكون الطاقة عندئذ أقل للذرات المرتبطة بعضها ببعض.

يقلل الارتباط طاقة الذرتين المرتبطتين معًا لكنه لا يمحوها تمامًا، ربما تنجذب كل نواة إلى إلكترونات الذرة، في حين تتنافر النواتان معًا؛ لأن كل النوى تكون مشحونة بشحنة موجبة، ومن ثم يضعف تشبيه الأقطاب المختلفة في هذه النقطة، فقد تستقر النواتان في موقف ترابط، لكنهما يكونان في حالة توتر مستمر فيما بينهما. وعندما يظهر موقف أكثر ملاءمة، تنكسر الرابطة وتتكوَّن رابطة جديدة، وفي بعض الأحيان تنطلق الطاقة الصافية، وفي أحيانٍ

أخرى تنقص الطاقة الصافية، ويُطلق على التفاعل الذي تنطلق فيه الطاقة «تفاعل طارد للحرارة»، ويُطلق علي التفاعل الذي يحتاج إلى وجود حرارة «تفاعل ماص للحرارة».

دعونا نلخص الأمر في بضع كلمات، نحن نعنى في جوهر حديثنا أن الطاقة الداخلية لمجموعة من الجزيئات أو الذرات هي مجموع (١) الطاقة الدورانية، و(٢) الانتقالية، و(٣) الاهتزازية، ويمكن أن يتغير مقدار الطاقة الداخلية التي يحويها نظام بالحرارة. يمكن أن تُضاف الحرارة إلى نظام أو تُطرح منه بطرق عديدة، لكن الطريقة التي تهمنا هنا في المقام الأول هي طريقة التفاعلات الكيميائية. عندما يطلق تفاعل كيميائي حرارة، يُسمى «تفاعل طارد للحرارة»، وعندما يمتص تفاعل كيميائي الحرارة يُسمى «تفاعل ماص للحرارة».

والآن أضفنا معلومة جديدة: وهي أن الجزيئات والذرات تتسم بالكسل، فتميل كل من الجزيئات والذرات إلى تقليل طاقتها متى سنحت لها الفرصة، فكرة البولنج تنحدر إلى أسفل المنحدر، والقارب يعوم في اتجاه مجرى النهر، والجزيئات تستقر في أدنى ترتيب للطاقة يمكنها أن تكون عليه.

لكن لنا هنا وقفة: فالجزيئات تميل إلى أن تكون في أدنى ترتيب للطاقة ممكن لها، لكن قد لا يكون هذا أدنى ترتيب ممكن للطاقة. لقد شرحنا في التجربة التي في مطلع هذا الفصل نوعين مختلفين من التفاعلات، أحدهما يطرد الطاقة والآخر يمتصها، وعندما يصل نظام كيميائي إلى أدنى مستويات الطاقة، فهو يطرد حرارة، ولا يحتاج النظام إلى طاقة إلا عندما يصل إلى ترتيب أعلى للطاقة ولا يمتص النظام الحرارة من البيئة المحيطة به إلا عندما يكون هناك احتياج للطاقة، لكن التفاعل الذي امتص الحرارة حدث بتلقائية، من ذاته دون تدخل أي عوامل محفزة غير مواد التفاعل. والآن لدينا سؤال نود أن نطرحه: لماذا حدث ما سبق؟ وهل تخضع النظم الكيميائية لقوانين مختلفة غير تلك التي تخضع لها كرة البولنج والقارب؟ هل المواد الكيميائية حرة بالدرجة التي تمكنها من أن تطأ الجبال وأن تسبح ضد التيار؟

هذا السؤال ليس بالسؤال اليسير، ولقد دار بالفعل قدر لا بأس به من المناقشات عن طبيعة الحرارة طوال القرن الثامن عشر والتاسع عشر وحتى

مطلع القرن العشرين، وترتبط الإجابة بشيء يُدعى «الأنتروبيا». والأنتروبيا هي ميل النظم للوصول إلى الحالة القصوى من الفوضوية.

المشروبات يختلط بعضها ببعض، والفوضى تعم المكاتب، وأوراق اللعب تُخلط بعشوائية بعضها في بعض، والأنتروبيا هي الميل الطبيعي للفوضوية. وتُعرف الأنتروبيا أيضًا بأنها الضريبة التي تدفعها البيئة، وأيضًا بأنها حكم الموت الصادر ضد الكون. في حين أن الأنتروبيا ما هي إلا تفسير فلسفي أو نظرة متشائمة، وهي سائق حقيقي يقود نحو العمليات الفيزيائية ويكون له أهمية كبرى في تحديد مصير الكون.

وبتساوي جميع الاعتبارات الأخرى، يتحرك النظام نحو الحالة القصوى من الفوضوية، ولا تتسم الجزيئات والذرات بالكسل فحسب، بل بالفوضوية أيضًا. لماذا تسعى النظم نحو الحالة القصوى من الفوضوية؟ والإجابة، مع أنها استغرقت وقتًا طويلًا وكفاحًا مريرًا لاكتشافها، هي أن الحالة الفوضوية هي الشيء المحتمل في كل مكان.

وعادة يمكن تفسير الأمر بتشبيهه بمجموعة أوراق اللعب، ثمة طريقة واحدة لتوزيع أوراق اللعب بطريقة صحيحة ومنظمة في لعبة البريدج (لعبة من ألعاب الورق): وهي توزيع ثلاث عشرة ورقة من نفس النقش، لكن ثمة ٦٤٠ مليار طريقة أخرى غير منظمة لتوزيع الورق. والمثير للدهشة أن احتمالية وجود الفوضوية تزيد أكثر من التنظيم، وبطريقة ما يمكن النظر لهذه الحقيقة من منظور ايجابي: وهي أن كل شيء محتمل، لكن ليس محتملًا بنسبة كبيرة. وعلى مستوى الجزيئات نجد أنه من الممكن أن تتحرك جميع جزيئات كرسي في نفس الاتجاه وفي نفس الوقت، وقد يتحدى الكرسي الجاذبية ويقفز من على الأرض، لكن هذا غير مستحب على الإطلاق. من المستحب تمامًا أن تظل حركة الجزيئات فوضوية، وكل حركة جزيء إلى أعلى تقابلها حركة جزيء إلى أسفل، لذا يظل الكرسي في مكانه. ويعتبر ميل النظم لأن تصبح فوضوية وتظل فوضوية، قويًّا للغاية بدرجة تسمح له أن يشرح — بالإضافة إلى اعتبارات الطاقة الأخرى — نتائج التفاعلات الكيميائية.

ويكون تأثير الأنتروبيا في العمليات الفيزيائية وفي العمليات الكيميائية أيضًا هو تحفيز التفاعلات، وحتى في التفاعلات التي قد تتطلب الطاقة ضمن مدخلاتها. ويعتبر البخار السائل مثل بخار الماء والكحول من الأمثلة التقليدية

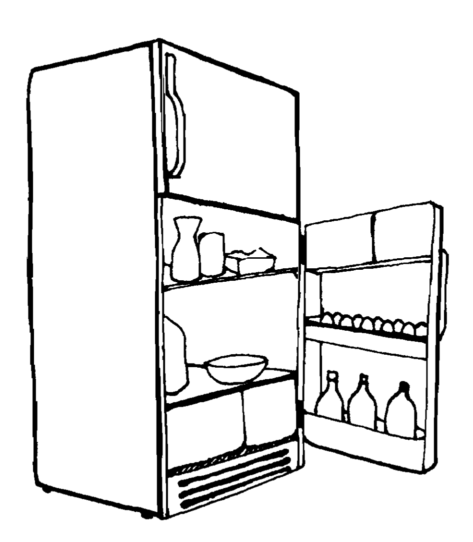
على ذلك، ويعتبر الملمس البارد للجلد عندما يتبخر الماء أو الكحول دليلًا على أن هذه العملية تحتاج إلى طاقة. فالماء والكحول يمتصا بعض الطاقة من الجسم، إلا أن العملية تحدث بشكل أسهل كثيرًا، باستخدام مصطلح أقرته العلوم وهو يتناسب مع معنى خاص ومحدود، وهو أن التفاعل يحدث تلقائيًّا، وتكتسب التلقائية معنى أكثر دقة في الديناميكا الحرارية، لأنه بوجود آلية الميكانيكا الحرارية يمكن حصر وتحديد ميل التفاعل للحدوث تلقائيًّا بالأرقام، ويُطلق على الرقم الذي حُدِّد «الطاقة الحرة».

ما هي الطاقة الحرة؟ الطاقة الحرة هي الطاقة الناجمة عن التفاوت بين الطاقة المكتسبة أو المفقودة في تفاعل كيميائي وبين الكمية المستعارة أو المستهلكة بسبب الأنتروبيا. تدون الطبيعة، تماما مثل دفتر الشيكات أو بيان الميزانية، كم الطاقة المفقودة أو المكتسبة وتخصم الضرائب المُستحقة للأنتروبيا، وتمثل الطاقة المتروكة رأس المال المتاح، أو كما نقول نحن في الديناميكا الحرارية الطاقة الحرة، وهي الطاقة الطليقة اللازمة لتنفيذ العمل. وقد ذكرنا أن إعادة التنظيم تلك للطاقة تحدث عند تكوّن الروابط الكيميائية أو كسرها، لكن نفس الأمر يدخل في اللعبة عند حدوث انجذابات بينجزيئية أو كسرها. ويعتبر التبخير، وهو تحول السائل إلى الحالة الغازية، مثالًا على عملية تتطلب طاقة لكنها لا تزال تحدث بطريقة تلقائية بسبب اكتساب الكثير جدًّا من الأنتروبيا. هل يؤثر تمدد الغاز بالفعل؟ يؤثر تمدد الغاز بالفعل في صمام الاحتراق الداخلي للمحرك.

يمكن رؤية السائل على أنه مجموعة أسماك أو سرب طيور؛ فالكل يتحرك لكن في وحدة وانسجام، فجميعها تنطلق في طريق واحد أولًا ثم ينعطفون في طريق آخر معًا، ويكون كل منها في موقع في المجموعة، وهذا الموقع محدد له من قبل ويتنوع قليلًا بتحرك المجموعة بأكملها معًا، إلا أن الغاز يشبه سرب بعوض يطير في الجوار بشكل فردي وفي اتجاهات عشوائية، فتطير المجموعة حيثما تحملها الرياح دون أن تستهدف اتجاهًا بعينه. يسهل علينا جدًّا أن نتنبأ بحركة سمكة واحدة من أحد أسراب السمك على أن نعرف اتجاه بعوضة في سرب بعوض، كذلك يكون السائل أكثر تنظيمًا من الغاز. يتبخر الكحول من الجلد مسببًا تعطيلًا لقوى الجذب البينجزيئية، مما يتطلب قدرًا من الطاقة، لأن الكحول قادر على اكتساب أنتروبيا بالتحول إلى غاز.

ويمكن أن تكون مثل هذه العملية التي تمتص الحرارة تلقائية إذا أحدثت قدرًا لا بأس به من الفوضى في نفس الوقت، ومن ناحية أخرى، إذا حدث استهلاك طاقة كافية، فإن التفاعلات التي تخلق التنظيم يمكن أن تُدفع للأمام، فالكعكة التي تكون صلبة ومنتظمة الشكل تُعد من الزبدة السائلة غير منتظمة الشكل بالإضافة إلى الحرارة.

يحدث التبريد في الثلاجة عندما يمتص المبرد المضغوط الحرارة ويتمدد مما يعوق قوى الجذب البينجزيئية. جميعنا يألف صوت المبرد المُنساب عبر شبكة الأنابيب المصطفة خلف الثلاجة، وكذا صوت مضخة الضغط الدائرة، لكن كيف يتثنى لهم أن يمنعوا فعل المبردات في مكان ولاعة السجائر بالسيارات؟ هل من خلال سلاسل الأنابيب الصغيرة جدًّا ومضخات الضغط المصغرة؟ ليس تمامًا، لكن بعض المبادئ الأساسية تكون هي نفسها.



على سبيل المثال: التبريد على الطريق

قبلما نتعرض لموضوع التبريد على الطريق دعونا نتطرق إلى المبادئ التي يقوم عليها التبريد المألوف العتيق الطراز والمتين. عندما يُسمح للسائل أن يتبخر على الجلد، يتلطف الجلد. جرب هذا باستخدام الأيزوبروبيل. والعرق هي المحاولة التي يقوم بها الجسم لكي يلطف نفسه من خلال إنتاج سائل

يتكثف علي الجلد ويلطفه. يمتص العرق الحرارة من الجسم ويستخدمها في كسر قوى الجذب البينجزيئية التي تحمل المواد في الحالة السائلة. ووضع وعاء به ماء يغلي على موقدك، يخوض في نفس التأثيرات التي يمر بها المبرد الذي في ثلاجتك، إذ تظل درجة حرارة الماء المغلي ثابتة عند درجة ٢١٢° فهرنهايتية (١٠٠° سليزية) (افتراضًا أنك في مستوى البحر) لأن الحرارة المضُافة من الموقد تكسر قوى الجذب البينجزيئية لجزيئات الماء، ولا تزيد الطاقة الانتقالية. في واقع الأمر، يتسبب وعاء الماء في تبريد الموقد نفسه عن طريق تبديد الحرارة، ويمثل المضي قدمًا في هذه العملية حاجة السائل المنظم للفوضى بتحويله إلى بخار.

وفي الواقع، يَستخدم سائل النيتروجين نفس المبدأ لإزالة النتوء الصغيرة. وكما ذكرنا من قبل في مناقشتنا حول القوى البينجزيئية، يحدث الانجذاب بين الأقطاب ثنائية الاستقطاب المُستحثة، وقوى التشتت بسبب توزيعات الإلكترونات المؤقتة غير المتساوية في السحب الإلكترونية التي تنتج مناطق موجبة وسالبة سريعة الانقضاء. يتكون النيتروجين من نواتين نيتروجين متحدتين معًا — ولا تملك الإلكترونات مبررًا لتفضيلها نواة نيتروجين واحدة في الجزيء على الأخرى — ومن ثم لا تعتبر القطبية الثنائية — وهي الانفصال الدائم للشحنة الموجبة والسالبة — من سمات جزيئات النيتروجين. وعند تبريد النيتروجين وضغطه يتحول إلى الحالة السائلة بسبب انجذاب قوى التشتت وحدها، لكن لهؤلاء الذين شعروا ببرودة سائل النيتروجين، لا يمكن أن يترك الألم أي شك فيما يخص قوة هذه القوى؛ فالطاقة التي تُمتص من الجلد عندما يتبخر سائل النيتروجين تسبب صقيعًا شديدًا يصيب الجلد يكفي لقتل هذا الجزء من الجلد، وإذا كان هذا الجزء من الجلد هو الذي يحوي النتوء الصغير، فإن النتوء يتلاشى.

والسائل الذي يتدفق عبر شبكة الأنابيب التي توجد خلف الثلاجة يزيل الحرارة من الداخل على نفس المنوال. في الواقع، يمتص المبرد المسُتخدم في الثلاجة قدرًا كبيرًا جدًّا من الحرارة حتى إنه يستطيع أن يُجَمِّد الجلد، ويُضغط الغاز عن طريق آلة، ثم يُسمح له بالانتشار عبر شبكة الأنابيب، تُدار عملية الضغط بمُوَلِّد كهربائي، وتُدار عملية الانتشار عن طريق الأنتروبيا؛ فالحالة الغازية تكون أكثر فوضوية من الحالة السائلة.

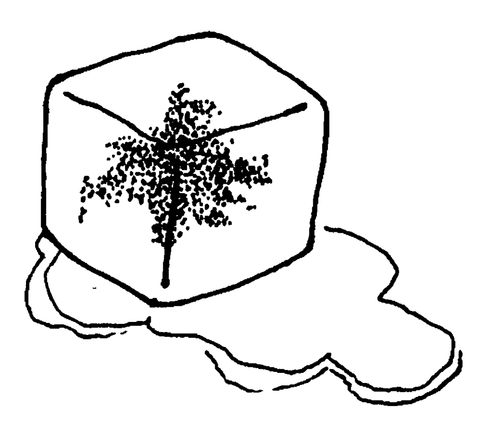
ومع أن عملية التبخير تقودها الأنتروبيا، فإنها لا تزال في حاجة إلى طاقة كي تحدث، من ثم فهي تمتص طاقتها من الأشياء المحيطة بها، وبالتالي تبرد الأشياء المحيطة بها في هذه العملية، تُجمع المادة المبردة ويُعاد ضغطها إلى سائل، ويطرد السائل المعاد ضغطه الحرارة التي سحبها من الثلاجة، والتي تكون سبب الحرارة التي نشعر بها خلف الثلاجة، بعد حدوث عملية الضغط، تُعاد الكرة من جديد.

لكن لا يوجد ضوضاء ناتجة عن مكبس الثلاجة الموجودة في السيارة، إذن لماذا؟ يُعزى ذلك إلى شيء يُسمى «تأثير بلتير للكهرباء الحرارية»، الذي يمكن شرحه أيضًا في ضوء الديناميكا الحرارية كالآتي:

تسمح بعض أشباه الموصلات بمرور الإلكترونات بشكل أسهل من غيرها، وعليه عندما ترتبط أية مادتين مختلفتين من أشباه الموصلات في دائرة كهربية، فإن الإلكترونات تجتاز في حالة من تغيير الطاقة، وهي مارة من أحد أشباه الموصلات إلى الآخر. عندما تقفز الإلكترونات من أحد مواد أشباه الموصلات إلى مادة جديدة من أشباه الموصلات — ثم تعود مرة أخرى إلى المادة الأولى — فإن إحدى القفزات الإلكترونية هذه تكون مع التيار والأخرى تكون ضد التيار. تحتاج إحدى القفزات إلى طاقة، في حين تطلق أخرى طاقة. من أين تأتي الإلكترونات بهذه الطاقة؟ ولماذا لا تُبتلع في الطريق عبر الوصلة حيث تنطلق الطاقة؟ هذا هو ما يحدث في المقام الأول: فالطاقة تتدفق، وتسخن إحدى الوصلات وتبرد الأخرى، إذا كانت الوصلة الساخنة خارج الصندوق المعزول والباردة داخله، فهنيئًا مريئًا، أنت تملك ثلاجة.

وتتعدد استخدامات الديناميكا الحرارية في الكيمياء، كما تتعدد الثلاجات، لكنها مفيدة على نحو فريد في فهم توازن الحالة، بالإضافة إلى مفهوم التوازن الكيميائي الهام؛ لأن التوازن الكيميائي يتضمن توازن الحالة، وسنلقي نظرة على توازن الحالة أولًا، والحالة قبل التوازن.





تجربة ١٤: الثلج المعزول

«ما اعتبره الشباب بلورات، أثبتت الأيام أنه قطرات ندى.»

روبرت براوينج، جوكنان هكادوش ١٨٤٠

لقد ناقشنا للتو الحالة الصلبة للمادة والحالة الغازية والسائلة أيضًا، وصادفنا كيمياء شيقة في كل منها، لكن هذا ليس إلا طرف الجبل الثلجي. وسيكون موضوع مناقشتنا التالي هو التغير من حالة إلى أخرى. مع أن طبيعة التغيرات التي تطرأ على الحالة التي اختبرناها من طريق المواد النقية — مثل الذوبان والتجمد والغليان — لها بريقها الخاص، فإن الأمر يصبح أكثر إثارة عند إضافة القليل من الكيمياء إلى الخلطة. ولتوضيح التغيرات التي تطرأ على الحالة مع القليل من الطابع الكيميائي، جرب التجربة الآتية:

بعد ارتداء نظارة الأمان الواقية، التقط زجاجة دليل اختبار قلوية مياه حوض السمك المقترح شراؤها في «قائمة المشتريات والمحاليل». أضف ثلاث نقاط من الدليل على نصف كوب (١٢٠ مليلترًا) ماء موضوع في وعاء من الزجاج الشفاف أو البلاستيك، ملاحظًا كما تفعل دومًا لون النقاط وهي متساقطة من زجاجتها ولونها وهي تتخلل الماء. يكون لون النقاط برتقاليًّا

ضاربًا للصفرة قبل إضافتها للماء ويتغير لونها إلى اللون الأزرق المخضر عند إضافتها إلى الماء. يُعزى تغير اللون إلى أن الدليل معتدل الحامضية. يفقد الدليل أيون هيدروجين في الماء الذي بدوره يغير لون المحلول. رج المحلول قليلًا لكي تخلط الدليل ثم غطِّ الوعاء بغلاف بلاستيكي. تأكد من أن الغلاف في مكانه بتثبيته بشريط مطاط أو بشريط لاصق. نظف خارج الوعاء بمنديل ورقي ثم ضعها في المجمد (الفريزز) على منديل ورقي. قم بالاحتياطات اللازمة كي تحفظ الوعاء بعيدًا عن أي أطعمة ثم اكتب عليه محذرًا، في بطاقة، ممنوع الاستخدام. دع الخليط يتجمد ويصبح مادة صلبة.

بعد أن يتجمد الخليط، خذه وانظر فيه عن كثب. ستلاحظ أن مكعب الثلج المتكون واضح من الخارج يتخلله الدليل متجمع معًا في الداخل في المنتصف، ويتحول لون الدليل المنعزل في الوسط إلى اللون الأصفر.

ثمة تقنية في الصناعة تُعرف بـ«التنقية بالعزل» تستخدم لتنقية المعادن، وفي هذه التقنية تُبرد المعادن ببطء بداية من أحد أطراف قضيب معدني مصهور. وتُضغط الشوائب إلى قاع المادة حيث يمكن التخلص منها. في حالة مكعب الثلج، أخذ الماء في التجمد ببطء بداية من جوانب الوعاء، وكما رأينا، فإن الماء دفع الدليل إلى خارج الخليط إلى منتصف معكب الثلج، وتحول الدليل إلى لونه الأصلي عندما كان مركزًا في زجاجته بسبب دفعه خارج المحلول إلى المركز. ويمكن رؤية التنقية بالعزل في الثلج أيضًا في مكعبات الثلج المنتظمة الشكل، حيث يكون الجانب الخارجي للثلج شفافًا في حين يكون داخله صلبًا وكثيف البياض، وتتكون هذه المنطقة الكثيفة البياض في المنتصف عندما تُدفع الغازات المذابة في صنبور الماء إلى وسط مكعب الثلج بالتجمد.



الفصل الرابع عشر

طور جديد تمامًا

«في الأسابيع التي أمضيناها معًا، أضحى هوبر رمزًا للشاب الإنجليزي، لذا كلما قرأت بعض الأقوال العامة التي تنادي بما يقتضي على الشباب فعله في المستقبل وما يدين به العالم للشباب، اختبرت هذه الجمل العامة باستبدال هوبر ومعرفة هل لا يزال الأمر يبدو معقولًا. ومن ثم في الساعات المتأخرة وقبل البدء في السهر والعربدة، كنت أحيانًا أفكر مليًّا في شجاعة وصمود هوبر، وفي نزل هوبر، وفي اتحاد هوبر الدولي، ودين هوبر. لقد كان هوبر المذاق اللاذع لكل تلك السبائك.»

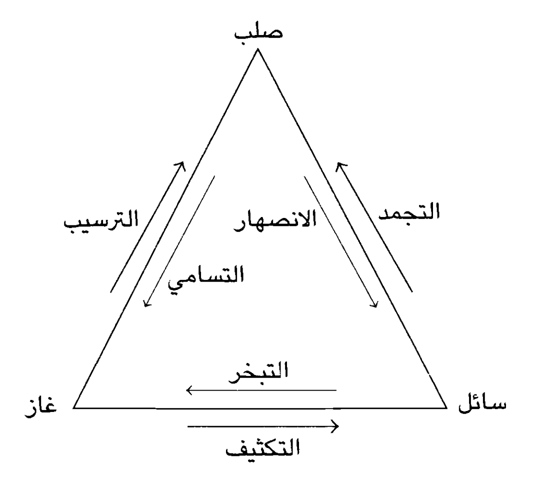
الكاتب البريطاني إفيلين ووف في
روايته «Brideshead Revisited» ١٩٤٥

يعتبر التوازن الكيميائي من أهم مفاهيم الكيمياء، وللأسف يعتبر التوازن الكيميائي أيضًا من أكثر المواضيع المركبة التي يمكن أن تحدث ارتباكًا، ولتجنب هذه المعضلة سنتناول هذا الموضوع بإسهاب، ولقد اتخذنا بالفعل الخطوة الرئيسية في هذا الموضوع عن طريق الخوض في موضوع الديناميكا

الحرارية، وسنتخذ خطوة أخرى الآن بمناقشة توازن حالة المادة، وهي ظاهرة أقل صعوبة وأكثر ألفة بين الناس. في حقيقة الأمر، جميعنا يعرف جيدًا الحالات المختلفة لإحدى المواد الكيميائية، وهي H_2O، ولدينا اسم تدليل لكل منها — فالماء للحالة السائلة والثلج للحالة الصلبة والبخار للحالة الغازية — مع أن الحالة التي نطلق عليها البخار، وهو الشيء الذي يمكنك أن تراه، ما هو إلا ضباب للماء المكثف بالفعل، فالبخار الحقيقي لا يمكن رؤيته ويكون شديد السخونة وغاية في الخطورة، أما الضباب الذي يمكنك رؤيته يتكون عندما يبرد البخار الساخن غير المرئي ويتكثف في الهواء المحيط، ومن الأفضل أن ندعو ما يُعرف بالبخار «ضباب». وتغير الحالة هو ما يحدث عندما يذوب الثلج وعندما يغلي الماء وعندما يتكثف البخار إلى ضباب.

والحرارة هي ما تسبب تغير الحالة: فثمة حرارة تتدفق إلى داخل المادة لتحدث بعض التغيرات وثمة حرارة أخرى تنطلق إلى الخارج لتحدث تغيرات أخرى. فالحرارة المتدفقة إلى داخل نظام عادة ما تظهر كزيادة في الطاقة الدورانية والطاقة الاهتزازية والطاقة الانتقالية، محدثة زيادة في درجات الحرارة. لكن عند درجة حرارة معينة (تختلف من مادة إلى أخرى)، يُضاف قدر كبير جدًّا من الطاقة إلى النظام لدرجة أن الجزيئات تقدر أن تفلت من تورطها في الانجذابات البينجزيئية وتنقل نفسها إلى الحالة التالية. تخف قسوة قوام المادة الصلبة إلى الحالة اللينة للسائل، أو تخف الحالة اللينة للسائل إلى الحالة الطليقة للغاز، وعندما تنطلق الحرارة من النظام، تبطئ الحركة الجزيئية، وتصبح القوى البينجزيئية ذات أهمية مرة أخرى. فالغاز يتحول إلى سائل والسائل يتحول إلى صلب. لكن لا يُشترط أن تمر المواد بالثلاث حالات بالترتيب، فمن الممكن لمادة أن تتحول مباشرة من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية والعكس، تبعًا للضغط. ويعتبر الثلج الجاف، الذي هو ثاني أكسيد الكربون الصلب، CO_2، مثالًا للمادة التي تتحول مباشرة من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية في درجة الحرارة العادية وتحت الضغط الجوي العادي. فخاصية الثلج الجاف هذه وحقيقة أن ثاني أكسيد الكربون أكثر كثافة من الهواء، تؤديان إلى استخدام ثاني أكسيد الكربون على خشبة المسرح كمؤثرات دخانية.

ويُطلق على عملية التحول من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية مباشرة دون المرور بالحالة السائلة «التسامي». أما الترسيب فهو العملية التي يحدث



شكل ١-١٤-١: الحالات العادية للمادة والتغيرات الفيزيائية التي تربطها.

فيها التحول من الحالة الغازية إلى الحالة الصلبة مباشرة دون المرور بالحالة السائلة، وقد يكون التجمد أحد الأمثلة على الترسيب: ففي ظل ظروف معينة يترسب بخار الماء الموجود في الهواء كصقيع دون أن يتكثف إلى سائل أولًا، وتوضح عملية التسامي رفيقتها عملية الترسيب في شكل ١-١٤-١، مع الحالات العامة للمادة والعمليات التي تربطهما.

في الشكل ١-١٤-١ تشير الأسهم المظللة بظل خفيف داخل المثلث إلى التغيرات التي تحتاج إلى طاقة كي تحدث، ويُطلق على هذه التغيرات «تغيرات ماصة للحرارة». أما الأسهم كثيفة التظليل خارج المثلث فتشير إلى التغيرات التي تطلق طاقة عند حدوثها، ويُطلق عليها «تغيرات طاردة للحرارة».

والتغيرات الماصة للحرارة هي تلك التغيرات التي تحدث على سطح الموقد: وهي الانصهار، والتبخير والتسامي، أما التغيرات الطاردة للحرارة فهي تلك التي تحدث داخل المبرد: وهي التكثيف والترسيب وبالطبع التجمد. ويمكن إثبات أن التكثيف هو عملية طاردة للحرارة عن طريق العواصف المطرية: عندما تتكثف جزيئات الحالة الغازية الموجودة في الجو إلى أمطار، تنطلق الحرارة، وهو ما قد يجعلنا نشعر بمقدار ضئيل من الدفء في الهواء المحيط.

ولو كانت هذه هي كل أحداث القصة، لكان هذا فصلًا قصيرًا ولكانت الكيمياء فقيرة، ولكن كما ذكرنا سابقًا، يلعب الضغط دورًا متممًا في التصرفات الواسعة النطاق للمواد المتعددة، مما يضيف بعدًا آخر على مناقشتنا، وفي عملية الخلط يجب وضع التركيب أيضًا بعين الاعتبار، مما يضيف عاملًا آخر. يعلل الضغط لماذا يعتبر التزلج على الجليد ممتعًا في حين لا يعد التزلج على الجليد الجاف (ثاني أكسيد الكربون المجمد) ممتعًا، وتتناول دراسة التركيب سبب تعفن البيتزا الجيدة. سنبدأ بالتزلج على الجليد ثم نتجه إلى البيتزا بعدها.

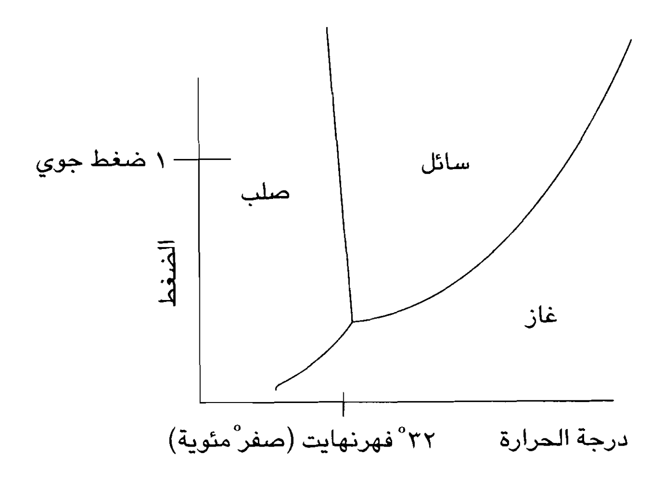
عندما يغلي الماء على الموقد، يخضع لتغير في الحالة؛ إذ يتحول من سائل إلى بخار، والفقاعات هي جيوب من البخار تتكون في الماء وهو يتبخر، ويتساوى الضغط داخل الفقاعة مع الضغط الذي يضغط على الماء لأسفل، وإلا لما تمكنت هذه الفقاعات من الارتفاع فوق سطح الماء ولا تمكن الماء من الغليان. عندما يقل الضغط المنصب على سائل، يتمكن السائل من الغليان عند درجة حرارة أقل لأنه لا يُشترط أن يكون ضغط البخار داخل الفقاعة كبيرًا للغاية، ويُلاحظ حدوث انخفاض ضئيل في نقطة غليان الماء في الارتفاعات الأعلى، مما يعنى أن أقصى درجة حرارة للماء عند الغليان التام تكون أقل من ٢١٢° فهرنهايت (١٠٠° مئوية)، وعند درجات الحرارة المنخفضة هذه، يستغرق الطعام وقتًا أطول لكي يُطهى جيدًا، لهذا السبب توصي بعض وصفات الطعام إتاحة وقت أطول لطهي الطعام وفي درجات حرارة مرتفعة جدًّا.

وتبين الطريقة التي يؤثر بها الضغط في تغير الحالة بالحقنة الشرجية الموصوفة في «قائمة المشتريات والمحاليل». سخن قطعة قماش صغيرة في ماء ساخن، واعصرها. أزل الإبرة من الحقنة واسحب مقدارًا قليلًا من كحول الأيزوبروبيل إلى داخل الحقنة، ثم غط بأحد أصابعك مكان الفتحة التي توضع فيها الإبرة. لف قطعة القماش حول قمة الجزء الأسطواني الذي في الحقنة، في ذلك الحين اترك الطرف المسدود بأصبعك تلحظ تغير الحالة. اسحب لأعلى برفق مكبس الحقنة، مما يُنشئ فراغًا فوق الكحول، ويقلل الضغط. ينبغي عليك أن تلحظ الأيزوبروبيل وهو يبدأ في الغليان من جراء الحرارة المنبعثة من قطعة القماش الدافئة فحسب.

نحن نختبر كل يوم مع الطقس عمليات تغير حالة المادة، حتى لو لم تمطر السماء أو لم يتساقط الجليد، فغالبًا يتساقط الندى في الصباح،

وتتوقف النقطة التي يحدث عندها الندى، وهي درجة الحرارة التي تتكثف عندها الرطوبة من الهواء على الأرض، تتوقف على الضغط المحيط، وعليه كان يستخدم الندى في الماضي كبارومتر بدائي للتوقعات الجوية. وتعتمد أيضًا الدرجة التي يتجمد عندها الماء على الضغط، لذا عندما نقول إن نقطة تجمد الماء هي ٣٢° فهرنهايت (٠° مئوية)، يجب علينا أن نحدد ذلك بأن نقول إن هذه درجة تجمد الماء في ظل الظروف العادية للضغط الجوي، إلا أن التغيرات الطفيفة التي نمر بها في الضغط الجوي لا تكفي لأن تغير نقطة التجمد على نحو كبير، لذا من الممكن أن نبرر إهمالنا لهذا التحديد في حديثنا اليومي. وعندما نقول إن الدرجة ٣٢° فهرنهايت (٠° مئوية) هي نقطة تجمد الماء، فإن هذا يشير فعليًّا أيضًا إلى أن هذه هي النقطة التي يبدأ عندها الماء في التحول إلى الحالة الصلبة. لذا يوجد عند درجة الحرارة هذه بعض الماء الذي لم يتجمد بعد، وهو الذي يجعل التزلج على الجليد ممكنًا، فطبقة الماء الخفيفة على الجليد تسمح للزلاجات بأن تنزلق بسهولة. ومع أنه يمكن التزلج على الجليد بسهولة باستخدام الحذاء الذي يُرتدى على الجليد بدون مزلاج، بسبب طبقة الماء الموجودة على الجليد في درجة الحرارة والضغط العاديين التي تسهل التزلق، فإن التزلج على الجليد باستخدام المزلاج هو أكثر متعة لأن أحد الخصائص المميزة للماء التي تعمل زيادة الضغط تقلل نقطة الذوبان. تركز آلية تصميم المزلاج على وزن المتزلج على المزلاج الرفيع الذي بدوره يعمل على زيادة الضغط عندما يستخدم المزلاج عند مستويات أكثر انحدارًا. ولا يعتبر التزلج على الجليد الجاف ممتعًا لأن الجليد الجاف، كما اسمه، جاف، بمعنى أنه لا يوجد عمليًّا طبقة سائلة في درجة الحرارة والضغط العاديين.

ولأن كل مادة تُظهر تصرفًا فريدًا من نوعه فيما يتعلق بتغير درجة الحرارة والضغط أو كليهما — الشمع يتحول من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة عند تسخينه، وبياض البيض يتحول من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة — فإن الأمر يتطلب مصفوفات من البيانات لوصف تصرف كل من درجة الحرارة والضغط مع كل مادة، وقد يتطلب الأمر أيضًا منظومة مختلفة لكل مادة. في أواخر القرن التاسع عشر، استنبط جوزيه ويلارد جيبس، وهو عالم رياضيات وفيزياء موهوب في الولايات المتحدة الأمريكية، وسيلة تُسمى

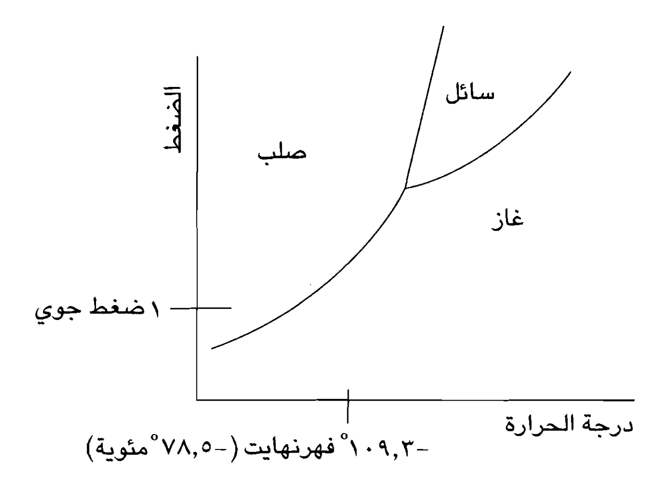


شكل ١-١٤-٢: الرسم التخطيطي لطور H_2O.

«رسم تخطيطي للطور» تسمح بعرض كافة البيانات في رسم بياني ملائم،[١] فعلى سبيل المثال، الرسم التخطيطي لطور H_2O تُوضح في شكل ١-١٤-٢.

يعرض الرسم التخطيطي للطور مناطق درجات الحرارة والضغط هذه التي تؤدي إلى حالات عديدة للماء: الحالة الصلبة والسائلة والغازية، أما الخطوط التي توجد بين الأطوار فهي تمثل الظروف التي تكون المادة في ظلها في حالة «اتزان»، بمعنى أنها الحالة التي تحيا فيها المادة في سعادة في كل طور من الأطوار، لذا تكون بعض المقادير في إحدى الأطوار وتكون بعض المقادير الأخرى في طور آخر. ويوضح التخطيط البياني أنه تحت جو واحد من الضغط، وهو الحالة العادية، يكون H_2O الصلب في توازن مع H_2O السائل — بمعنى أنها سوف تبدأ إما في التجمد أو في الذوبان — حيث إن درجة التجمد العادية لها هي (٣٢° فهرنهايت، ٠° مئوية). إذا كانت درجة الحرارة أعلى، أو إذا انتقلنا إلى اتجاه اليمين في مخطط الطور، فإننا سنجد أن الماء يكون في الحالة السائلة تحت الضغط العادي.

إذا كانت درجة الحرارة أعلى، أو إذا اتجهنا إلى جهة اليمين من مخطط الطور، فسنجد أن الماء يكون في الحالة السائلة تحت الضغط العادي، وإذا زادت درجة الحرارة إلى ١٠٠° مئوية ونحن لا نزال في نفس الجو، حينئذ يكون الماء في حالة انتقال إلى الحالة الغازية.



شكل ١-١٤-٣: مخطط الطور لثاني أكسيد الكربون.

لكن كما هو الحال مع الجدول الدوري، ثمة معانٍ عديدة أخرى يحملها مخطط الطور، فإذا كانت درجة الحرارة مثلًا هي ١٠٠° مئوية وكان الضغط أعلى من الضغط العادي، فيمكننا عندئذ القول من المخطط إن لدينا H_2O السائل، ومع ذلك فنحن لا نزال عند درجة الغليان العادية. وأيضا إذا كان الضغط يتجه إلى أسفل، فإن درجة الحرارة التي تنتقل عندها المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية تنخفض أيضًا. وهذا نفس ما حدث للكحول في الحقنة، ويمكننا أن نرى أيضًا من مخطط الطور أن الماء في درجة الحرارة المنخفضة يمكنه أن يظل في حالة اتزان مع بخاره، إلا أن ضغط البخار سيكون أقل منه عند نقطة الغليان.

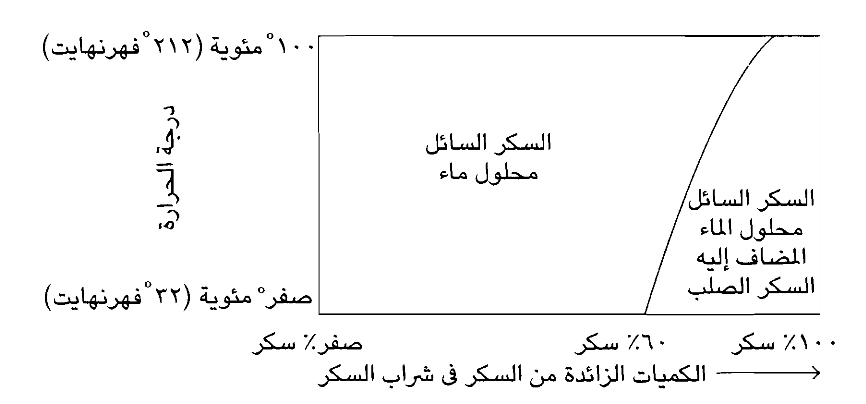
يُوضح شكل ١-١٤-٣ مخطط الطور لثاني أكسيد الكربون. ومن هذا المخطط نرى عند جو واحد للضغط أن ثاني أكسيد الكربون CO_2، لا يكون في الحالة الصلبة للمادة إلا في درجات الحرارة المنخفضة جدًّا، وعند أي درجة فوق -١٠٩,٣° فهرنهايت (-٧٨,٥° مئوية) فإنه يكون في الحالة الغازية. فهو يتحول مباشرة إلى غاز (المرحلة الانتقالية التي تُسمى التسامي) لأن ثاني أكسيد الكربون الصلب يسخن في جو واحد، لهذا يستخدم ثاني أكسيد الكربون لإثارة الدخان، ولهذا يصعب التزلج عليه في درجة الحرارة والضغط العاديين؛ فلا توجد طبقة لزجة سائلة، لا يوجد إلا الغاز.

ويمكن أيضًا لمادة نقية أن تحظى بحالات صلبة مختلفة؛ فالقصدير، وهو المادة التي كانت تستخدم في وقت ما في أنابيب الأرغن، يمكنها أن تتغير من مادة القصدير في الحالة الصلبة ذات اللون الأبيض إلى قصدير مسحوق رمادي اللون في درجة الحرارة المنخفضة، ويُطلق على التحول المرحلي هذا «مرض القصدير» أو «آفة القصدير».[٢] ويمكن للثلج أن يأخذ أشكالًا صلبة عديدة مميزة، بما فيها شكل الجليد IX. وطبقًا لما هو مذكور، لم يكن كرت فونيجت، الكيميائي بالتدريب، مدركًا للوجود الفعلي لشكل الجليد IX، عندما استخدم هذا الاسم في روايته «مهد الهرة».[٣]

ويمكن تمثيل التغيرات المرحلية التي تحدث للمخاليط من مخطط الطور أيضًا، إلا أن هذه المخططات البيانية تميل للصعوبة على نحو كبير للغاية. والطور هو أي مرحلة متسقة وثابتة للمادة، سواء كانت النقية أم المختلطة، من ثم تعتبر كل الحالات المختلفة التي يمكن أن يجد الخليط نفسه عليها تُحدد على أنها طور منفصل في مخطط الطور. ومن الممكن أن توجد مراحل عديدة معًا في توازن، ويجب إيضاح هذا أيضًا في المخطط، والسبيكة هي فئة من المخاليط التي يمكنها أن تحظى بمراحل مميزة ويمكنها أن تبين مدى التعقيد الذي يشوب تغيرات المرحلة. إذا كان لديك نحاس، يمكن أن يكون هذا النحاس نحاسًا سائلًا أو نحاسًا صلبًا، تبعًا لدرجة الحرارة، وإذا كان لديك خارصين فإما أن يكون هذا الخارصين سائلًا أو صلبًا، تبعًا لدرجة الحرارة. لكن إذا كان لديك سبيكة من النحاس والخارصين، فمن الممكن أن تكون هذه السبيكة من سائل النحاس وسائل الخارصين، أو سائل النحاس مع الخارصين الصلب، أو سائل الخارصين مع النحاس الصلب، أو النحاس الصلب مختلطًا بالخارصين الصلب، وكل منها يعتبر مرحلة منفصلة. لكن أي حالة من هذه الحالات سيثبت، يتوقف هذا على درجة الحرارة والضغط والمقادير النسبية من الخارصين والنحاس في الخليط، هذا فقط عندما تتكون السبيكة من مادتين فقط. إذا أحصينا عدد المكونات المُدرجة على بطاقة زجاجة شامبو، من السهل أن نرى مدى الصعوبة التي يمكن أن يكون عليها مخطط الطور، وفي محاولة لتبسيط الموقف، عادة يُفترض أن الضغط ثابت، في الجو الواحد، ويكون المتغيران اللذان نحاول أن نقتفي أثرهما درجة الحرارة والتركيب.

وخذ مثلًا النظام البسيط لبيكربونات الصودا في الماء، فهي تُضاف للماء، فتذوب المقادير الضئيلة المُضافة أولًا في المحلول، لكن بإضافة المزيد يصبح الخليط مشبعًا، وتتواجد المادة الصلبة بالمثل مع المادة السائلة. بكلمات أخرى، تعتمد القابلية للذوبان على التركيب: فإذا كان لديك نظام يسود الماء على تركيبه مع القليل جدًّا من البيكربونات، تذوب البيكربونات في المحلول. وإذا كان لديك نظام يسود الماء على تركيبه لكن مع الكثير من البيكربونات هذه المرة، فإن الصودا تترسب في المحلول. أما إذا ثبت التركيب، بمعنى أن تستخدم كوب ماء مشبعًا ببيكربونات الصودا، عندئذ يمكنك أن ترى كيف أن القابلية للذوبان تعتمد على درجة الحرارة، فإذا سخنت المحلول في درجة حرارة منخفضة في ميكروويف، تذوب بيكربونات الصودا في المحلول لأن النظام يسخن ويظهر المحلول بوضوح، وإذا تركنا المحلول يبرد، تخرج بيكربونات الصودا من المحلول مرة أخرى.

مثال آخر تتغير فيه القابلية للذوبان بتغير درجة الحرارة والتركيب هو في الفنون الجميلة للتقطير: يتميز التقطير بحقيقة أن البخار الموجود على المحلول يختلف عامة في تركيبه عن تركيب المحلول الذي أتي منه، وهذا الاختلاف في التركيب بين السائل والبخار يمكن برهنته باستخدام كوب ماء به ألوان طعام. إذا قمنا بتغطية كوب به بوصة أو اثنتان ماء مع ألوان طعام بغلاف رقيق من البلاستيك وثبتنا الغلاف في مكانه بشريط من المطاط ثم قمنا بتدفئته في الميكروويف لفترة قصيرة (من خمس عشرة دقيقة إلى عشرين دقيقة)، نلاحظ أن الجوانب الداخلية للكوب تتغطى بكثافة، إلا أن هذه الكثافة تكون شفافة، ولا تتلون بألوان الطعام، ويُعزى اختلاف اللون إلى أن الحالة البخارية تختلف في تركيبها عن تركيب الحالة السائلة، والحالة البخارية هي ماء نقي، وليس خليطًا من ألوان الطعام والماء. يتمتع الماء بدرجة غليان منخفضة عن درجة غليان ألوان الطعام، من ثم يدخل الماء في حالة البخار بسهولة أكثر تاركًا لون الطعام خلفه، وقد يكون هناك بعض أنواع الطعام القادرة على التبخر مع الماء، لكن الأغلبية ليست لديها هذه القدرة وجيد أن نرى هذا التأثير. إذا لم تنجح التجربة مع لون الطعام الذي لديك، أحضر لون طعام آخر (يرجح استخدام ألوان الطعام القديمة، حيث يبدو أنها تعمل أفضل) وحاول مرة أخرى.



شكل ١-١٤-٤: مخطط الطور لقابلية السكر للذوبان في الماء. لاحظ أننا عندما قمنا برسم مخطط طور المادة النقية، سواء كان الماء أو ثاني أكسيد الكربون الجاف، كانت المعالم المتغيرة هي درجة الحرارة والضغط، لكن في هذا المخطط، يكون مخطط الطور لخليط، والمعالم المتغيرة هنا هي درجة الحرارة والتركيب، فالضغط يُفترض أنه ثابت.

يستخدم التقطير لتنقية المياه عند الضرورة ويستخدم أيضًا لغرض شائن. يُفصل الإيثانول وكحول الحبوب من الماء بتسخين الخليط حتى يتحول الإيثانول إلى الحالة البخارية، مخلفًا وراءه الماء، إلا أنه لا يمكن إزالة كل الماء من الإيثانول بهذه الطريقة بسبب قوى الجذب البينجزيئية الشديدة. يكون هناك دائمًا بعض الماء في الإيثانول، وأقصى ما يمكن أن تناله يدك بالطرق العادية هو ٩٥٪ إيثانول (١٩٠ معيار كحولي)، وهي نسبة أكثر من رائعة بالنسبة لأغلبية الاستخدامات العرضية. ويمكن توضيح أيضًا الملاحظة العامة القائلة إن القابلية للذوبان تزداد عادة بزيادة درجة الحرارة عن طريق خليط الماء والسكر، لكن هذه المرة باستخدام القليل من الحيلة. وفي حين قد يكون حقيقيًّا أن ملء ملعقة طعام من السكر لا تكون قابلة للذوبان في ملء ملعقة شاي من الماء في درجة الحرارة العادية، فإن التسخين الهين يجعل السكر يذوب في المحلول، وهذا الانتقال من مرحلة إلى أخرى، يمكن التعبير عنه مرة أخرى بمخطط الطور، مثل ذلك الموضح في شكل ١-١٤-٤.

يخبرنا هذا المخطط أنه إذا كان لدينا خليط، وثمة بعض السكر غير الذائب فيه، ثم سُخِّن دون حدوث تغير في التركيب، فإن طور الخليط يتغير من خليط

سكر صلب وماء إلى محلول يتكون تمامًا من السكر والماء، أو بكلمات أخرى، سخِّن محلول السكر والماء، عندئذ تحصل على المزيد من السكر المذاب في المحلول.

قد تبدو هذه الحقيقة غير مهمة إلى حد ما فهي ليست سرًّا، فطريقة دفع المزيد من السكر للذوبان في المحلول معروفة للطهاة والسقاة منذ الأزل، وقد يبدو أنها لا تستحق أن تُعامل على حدة، وقد تبدو الصلصة الهولندية أيضًا موضوعًا تافهًا لأن تُذكر في كتاب كيمياء، لكننا سنناقشها هنا أيضًا للسبب الآتي: ألا وهو أن الصلصة الهولندية تختلف عن الماء الذي به سكر! فهي تعرض تصرفات لها فحوى بعيدة الأثر — حيث يمتد أثرها من جسر لندن إلى لمبرجر ببلجيكا ويأتي الاختلاف في هذه الصلصة عندما تُترك لتبرد مرة أخرى.

والصلصة الهولندية هي مُعلق لطعم الزبد في البيض، وعندما تكون دافئة ومعدة حديثًا، تنسكب الصلصة بانسيابية كخليط أحادي الطور، ويكون محلول السكر والماء المحلى الساخن خليطًا متماثلًا من السكر والماء، وعندما يبرد الماء المحلى، فإنه يظل خليطًا متماثلًا من السكر والماء، لكن عندما تبرد الصلصة الهولندية، يحدث شيء آخر، فهي تنعزل، لا تظل الصلصة الهولندية الباردة معًا لأنها تكون في حالة شبه مستقرة وليست مستقرة تمامًا، بمعنى أن هذا ليس أدنى وضع للطاقة لها ولكنها تكون في مستوى استقرار أعلى من الوضع الأدنى للطاقة.

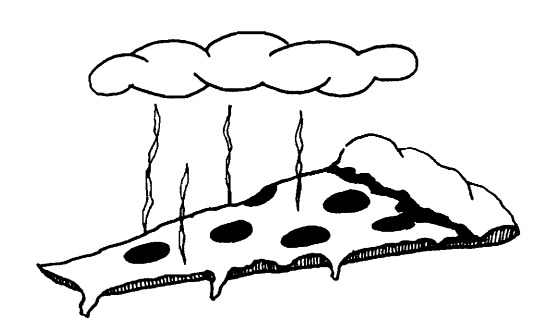
وقد تعتبر كرة البولنج التي تتوازن أعلى درجة السلم مثالًا على حالة شبه الاستقرار. حيث تكون كرة البولنج مستقرة لكنها لا تكون في أدنى وضع من الطاقة لها الذي تكون عليه عندما تستقر على الأرض، فعند تعرض الكرة لأقل إثارة ستسعى نحو أدنى مستوى للطاقة ومن ثم تنحدر من على درجة السلم، أما الوضع الذي تكون فيه الكرة في طريقها نحو الاستقرار، عندما تتحرك الكرة ببطء، فهذا يعتبر أيضًا وضعًا شبه مستقر وليس مستقرًّا. كذلك تكون الصلصة الهولندية في حالة شبه الاستقرار، إلا أن الزيوت التي تدخل ضمن مكوناتها تسعى نحو الارتباط ثانية بعضها ببعض إذا تمكنت من إيجاد مسلك لذلك، مما يسبب انفصالها.

ولا تقتصر حالات شبه الاستقرار على الصلصة الهولندية فحسب، بل يمكنها أن تحدث في أنظمة متنوعة بنفس قدر تنوع الأدوية والسبائك، وتعتبر أدوية عديدة معلقة حيث تنتشر حالة عدم استقرار المواد الصلبة في السائل.

والسبائك المعدنية هي مخاليط من المعادن التي ينبغي تسخينها عادة في درجات حرارة مرتفعة جدًّا كي تمتزج معًا، وإذا بُرِّدَ الخليط ببطء تام، فإنه يُحتمل حدوث انفصال مثلما يحدث في «التنقية بالعزل» المذكورة من قبل. أما إذا حدث تبريد سريع، ينتج خليط صلب في حالة شبه استقرار، وبالطبع تتضمن حالة شبه الاستقرار وجود حالة أخرى، وهي حالة مستقرة، يمكن أن ينتقل إليها الخليط مع الوقت، من ثم يمكن أن تتغير خصائص السبائك المعدنية وإن يكن الأمر يحدث ببطء مع الوقت. بكلمات أخرى، التركيبات التي تتألف من سبائك، مثل الجسور، يمكنها أن تتقادم، فلا يجب أن نأخذ الصدأ فحسب بعين الاعتبار عندما نقرر إذا كان الجسر سليمًا وآمنًا، لكن أيضًا العمر المنقضي وطبيعة المادة المصنوع منها الجسر.

لكن ما من مبرر للقلق بشأن رحلة العودة إلى المنزل باستخدام المواصلات العامة. وليست الجسور وحدها هي التي تُراقب بعناية من أجل تأثيرات الزمن، فملاحظة عودتها من حالات شبه الاستقرار إلى أقصى حالات الاستقرار يمكن أن يكون في غاية البطء في غضون حياة بشر كثيرين، وقد بُنيت معظم الجسور لتدوم وتبقى.

لكن لا يكون الحال كذلك مع مخاوفنا التالية: وهي الجبن.



على سبيل المثال: عندما تفسد البيتزا الجيدة

تعتبر مواد كثيرة نتعامل معها يوميًّا في حالة شبه استقرار، مثل المستحلبات والعوالق الدوائية والشامبو وتوابل السلطة والصلصة والبهارات التي تُضاف للطعام مثل الكاتشب والمايونيز والماستردة. لكن من بين مخاليط الحالة شبه

المستقرة التي تستخدم كأطعمة كافة، ربما يكون الجبن هو أقدمها وأكثرها شهرة.

يُعتقد أن عمل الجبن قد اكتشف بالصدفة عندما حاول شخص ما أن يخزن اللبن في كيس مصنوع من معدة الحيوان وكنتيجة لذلك أفسدت الأنزيمات الموجودة في المعدة اللبن. بالتأكيد كان هذا الرجل الذي تذوق أول نوع من الجبن رجلًا شجاعًا أو شخصًا جائعًا جدًّا. لكن منذ ذلك الحين اكتسبنا كجنس بشري ولوعًا بهذا الشيء، لدرجة أن نصيب الفرد في الولايات المتحدة الأمريكية وحدها يقارب ثلاثين رطلًا من الجبن سنويًّا. ويُنتج الجبن، الذي هو خليط شبه مستقر من الزيوت والماء والدهون ومركبات الكالسيوم واللبن، عندما تحول الأنزيمات التي تُفرز في معدة العجول ببطء البروتينات المتجلطة إلى مواد صلبة. وتتواجد الأنزيمات التي تبدأ عملية هضم البروتين في معدة كافة الثدييات، لكن في أثناء عملية صنع الجبن، يُسمح للأنزيمات بأن تنفذ عملية الهضم ببطء تام لدرجة أن كتل المواد الصلبة التي تكون في شبه حالة استقرار تتكون وتُحاط بسائل يحوي دهونًا وسكريات.

وتكون المواد الصلبة هذه هي الخثارة. وشرش اللبن هو الجزء الأكثر سيولة. ويمكن أن نعتبر الجبن تعلق شبه مستقر لخثارة اللبن في الشرش. ويُحدد قوام نوع معين من الجبن على أساس مدى تقطيع وعزل الخثارة من مخيض اللبن، أو على أساس الوقت المستغرق في تخثير اللبن أو نضجه. وعندما لا تنفصل الخثارة من اللبن ولا يكون الجبن قديمًا، ويكون القوام طريًّا يُسمى جبنًا غير ناضج، هو ما يشبه جبن الكوتدج (الجبن القريش). وعند عصر كل الشرش الممكن من الخثارة وترك الجبن فترة زمنية ليتعتق، تنتج قوالب صلبة تُسمى الجبن الجاف، مثل الجبن البارميزان الجاف. يتضمن التعتيق إتاحة الوقت للبكتريا لإتمام عملية التجبن التي تبدؤها الأنزيمات، مما يفسر لما يظل الجبن الجاف بحالة جيدة: فهو قد تعرض بالفعل للبكتريا ونجا. أما الجبن الطري مثل الجبن القريش التي لا تترك فترة طويلة فينبغي حفظها في المبرد.

يفيد عمل البكتريا أيضًا في كسر أي لاكتوز متبقٍ، وهو السكر الموجود في اللبن. ويُعاب على الجبن كثيرًا أنه طعام صعب الهضم، لكن في حقيقة الأمر، ينبغي أن يكون الجبن الجاف الذي يُصنع باستخدام مزارع البكتريا

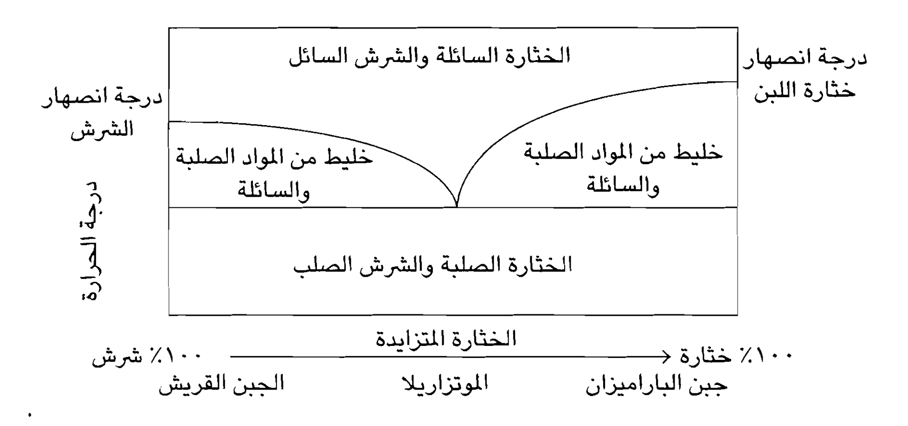
الحية أسهل في هضمه لأنه لا يحوي لاكتوز، فعادة يُنصح البالغون الذين لا يستطيعون تحمل اللاكتوز بأكل الجبن كمصدر بديل للكالسيوم والبروتين. ويستدعي الأمر التفكير مليًّا في السمعة السيئة التي تشوب الجبن بأنه «يسبب الإمساك»، التي قد تنبع من الخبرة التي عانها أولئك المصابون بحساسية للطعام لفترة طويلة ويكون برازهم رخو القوام، إذ يسبب لهم الجبن إمساكًا على غير العادة. إلا أن ثمة العديد من منتجات الجبن التي يُضاف إليها اللبن مرة أخرى، لذا اقرأ البطاقة الخارجية بعناية.[٥]

ومن بين الثلاثين رطلًا جبنًا التي يستهلكها الفرد في الولايات المتحدة الأمريكية، يتقدم قدر لا بأس به من الجبن المذاب طعامَنا المَحلي الحديث: البيتزا. تتصدر عناوين محلات البيتزا معظم دلائل التليفونات، وهو امتياز لم يحظ به التفاح ولا الخرشوف ولا السبانخ، ومع أن طبقتا البيتزا الخارجية المقرمشة والصلصة قد تكونان عنصرين مهمين في البيتزا الجيدة، فإنه يجب أن نقر ونعترف أنه بدون الجبن تكون البيتزا مجرد سندويتش صلصة مفتوح للهواء الطلق، إن جودة جبن البيتزا وخصائصه المميزة هي أهم ما ينشغل به العاملون في مجال البيتزا.

ما هي أهم خاصية في جبن البيتزا الجيد؟ الطعم، بالطبع، وقدرته على الذوبان بانسيابية أيضًا، وفي شكل منتظم دون الانفصال مرة أخرى إلى خثارة وشرش، ولهذا السبب لا تُغطى البيتزا بجبن غير ناضج مثل الجبن القريش أو جبن جاف مثل جبن الباراميزان، لكن بجبن شبه طري: وهو الموتزريلا.

وكما ذكرنا سابقًا، تعتمد درجة ليونة أو جفاف الجبن على مقدار الخثارة والشرش، من ثم يمكننا أن نوضح المشكلة عن طريق مخطط للطور وُضع خاصة لهذه المشكلة، التي يمكننا أن ندعوها (Little Miss Muffet «LMM»): وهو مخطط طور لخليط خثارة اللبن والشرش.

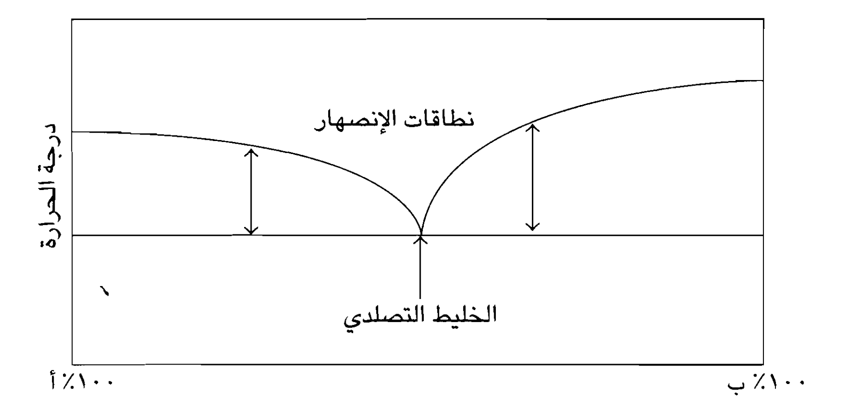
قبل أن نفسر مخططنا، يجب علينا أولًا أن نقر أن LMM ليس مخطط طور حقيقيًّا، فمخطط الطور الحقيقي للجبن الحقيقي يكون أكثر تعقيدًا، والغرض من مخطط الطور هذا هو أن نوضح كيف أن سلوك كل من الانصهار والتجمد يعتمد على التركيب، وليس الغرض أن نفسر كيمياء الجبن. فعلى سبيل المثال، إذا سُخِّن نوع من الجبن السائل جدًّا، مثل الجبن القريش، في ميكروويف، فإنه سيأخذ بالتدريج شكلًا هلاميًّا متماثلًا من الخثارة والشرش،



شكل ١-١٤-٥: مخطط الطور الافتراضي للجبن (LMM).

وعندما يبرد فإنه سينفصل بالتدريج في آخر الأمر إلى طبقات من سائل الشرش الشفاف وسائل الخثارة الأبيض. والشيء الذي ندعوه جبن قريش هو خثارة صلبة معلقة وشبه مستقرة في خثارة وشرش سائلين، وقد يجب تسخين الجبن الجاف في درجات حرارة عالية لينصهر، وقد يحترق قبل أن ينصهر، لكن إذا سُخِّن تسخينًا هينًا في درجة حرارة أقل من نقطة الانصهار، فقد تبدأ بتعرق وفرز سائل زيتي القوام، ذلك لأن الجبن الجاف يكون عند شرائه في حالة شبه استقرار متقنة الصنع، ولا يعود الجبن إلى حالته الأصلية عندما يبرد، وبعد طور الانفصال المُستحث بالحرارة، يتغير قوام الجبن عندما يبرد، حيث يصبح أكثر هشاشة مشكلًا خيوطًا، إلا أن الأمر الذي نحتاجه لكي نحصل على بيتزا جيدة هو أن يكون لدينا جبن لا ينفصل مثل الجبن غير الناضج، ولا يفرز مادة زيتية مثل الجبن الجاف. وعندما يتعلق الأمر باختيار أفضل جبن للبيتزا، ينجذب الناس نحو جبن شبه طري، وهو الموتزرلا، لأن الموتزرلا تنصهر بانسيابية وتكون مستوية فوق سطح البيتزا. ولقد اقتنعنا جميعنا بأن الموتزرلا تنعم بأفضل مذاق لجبن البيتزا، لأن هذا ما اعتدناه، في الواقع، أي جبن آخر كان سينجح في القيام بنفس الدور لو أن سلوك تغيره المرحلي كان أكثر ملاءمة.

وثمة ميزة أخرى لاستخدام الموتزرلا، وهي أن البيتزا كخليط تنصهر بسرعة وتماثل عند نقطة انصهارها، وذلك لأنه في معظم المخاليط الصلبة، نجد أن الخليط ينصهر في مدى معين من درجات الحرارة، بمعنى أن الخليط



شكل ١-١٤-٦: مخطط طور شامل للخليط الذي يُظهر سلوك ذوبان تصلدي مثل سبيكة اللحام.

يبدأ في الانصهار عند درجة حرارة ما، لكن لا يتحول الخليط بأكمله إلى الحالة السائلة ما لم يُسخن إلى درجات الحرارة النهائية.

إلا أنه يوجد بعض المخاليط القاطعة التي لديها التركيب المباشر حيث تصل إلى نقطة الانصهار على نحو مفاجئ وفوري. ويُطلق في الكيمياء على الخليط الذي ينصهر عند نقطة انصهار واحدة (نقطة واحدة وليس مدى معين من النقاط مثل باقي المخاليط) «الخليط التصلدي»، ويطلق علي هذا الخليط في عالم الجبن الموتزرلا. وسبيكة اللحام خليط تصلدي.

إلا أن المعضلة التي تواجه متعهدي البيتزا في أمريكا هي ليست انصهار البيتزا فحسب، بل تجمدها أيضًا، حيث يطلب محبو البيتزا في أمريكا الحصول على وجبتهم المفضلة في التو واللحظة، مما يعنى أنها يجب أن تكون في وضع مجمد بحيث يسهل إعدادها سريعًا في الميكروويف أو في أفران الحمل الحراري. إلا أن الجبن يمكن أن يفسد عندما يمر بتغيرات سريعة في الطور مثل تجميده في المبرد وتسخينه في الميكرويف. ويفضي التجميد الذي يعقبه تسخين سريع إلى جبن هش وخيطي وصلب القوام أو إلى جبن محروق. والحل هو استخدام جبن معالج وهو خليط من الجبن المطحون وأملاح مستحلبة ومثبطات طعم أخرى. يسمح الجبن المعالج للبيتزا بأن تتجمد وأن يُعاد تسخينها أو حتى تُترك خارج الثلاجة على المائدة لفترة مقبولة من الوقت، إلا أن أفضل فترة

انتقالية من التجمد إلى الانصهار يمكن تحقيقها باستخدام جبن مُقلد مكون من زيت فول الصويا والخثارة.

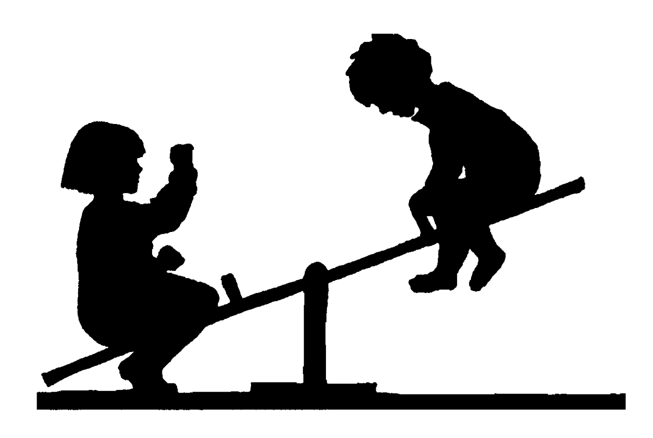
ولإثبات الاختلاف في سلوك تغير الحالة، اشتر موتزرلا مبشورة أصلية، وموتزرلا مبشورة مقلدة ممتازة. وبقراءة البطاقة المكتوب عليها المكونات، ستجد علامة إذا كانت هذه الموتزرلا أصلية أم مقلدة، أم إذا كان لديك بعض الشك، فبالنظر إلى قائمة المكونات سيتضح الاختلاف بين الاثنتين. ضع مقدارًا ضئيلًا من كل منهما على كل جانب من جوانب طبق من الورق واكتب «أصلي»، و«مقلد» على الطبق بجانب كل عينة على حسبه. سخن الطبق الذي يحوي العينات في الميكروويف لمدة من عشرين إلى ثلاثين ثانية. نلاحظ أن الموتزرلا المقلدة تنصهر بانسيابية وتحتفظ بلونها ومرونتها، أما الموتزرلا الأصلية فتتحول إلى اللون البني وتصبح هشة وصلبة بصورة سيئة. بترك عينات الموتزرلا الأصلية والمقلدة، بالخارج على منضدة لمدة يومين، نجد أن الموتزرلا الأصلية تصبح هشة وجافة، في حين أن سطح الموتزرلا المقلدة يبدو طازجًا تماما كما كان الحال عند إخراجها من عبوتها.

من ثم إذا كان هدفك هو أن تهزم طبيعة تغير الحالة، فإن الموتزرلا المقلدة هي طريقك إلى ذلك، لكنها ليست طريقك إذا أردت أن تحتفظ بالنكهة الغنية، فالكيمياء ليست هي نفسها. وللأسف، لقد قادنا باعنا الطويل مع الجبن المعالج إلى توقع صلابة شديدة من البيتزا التي لما وُجدت الآن لو أنها كانت تُصنع من مكونات غير معالجة. لذا إذا كنت تستثمر في بيتزا جيدة، وكان هناك المزيد لتخزنه، ربما عليك أن تفعل ذلك بحذر. فعند معالجة الموتزرلا بعناية، فإن كل شيء يكون على ما يرام، فيجب تدفئة البيتزا المجمدة قبل إعادة تسخينها، ويجب إعادة تسخينها في درجة حرارة منخفضة في الميكروويف، أو ربما من الأفضل في فرن دافئ، لكن حتى مع كل هذه التحذيرات، قد يكون هناك تغيرات في القوام والمذاق، لذا من الأفضل أن تتمتع بالبيتزا بأكلها وهي طازجة وبحالة جيدة، وإذا كان عليك أن تجمدها، فلا تُحبط إذا فسدت هذه البيتزا الجيدة.

تبقى معضلة أخرى ألا وهي أن ما من مقدار من المثبطات يثبت، وعليه، ستجف حتمًا البيتزا إذا لم يحكم غلق الكيس الذي يحويها. وأما غير المطلعين على مخطط الطور، فقد يبدو تجفيف الطعام في المجمد غريبا عليهم. لكن

بالنظر لمخطط طور الماء، نرى أنه في درجة الحرارة ٣٢° فهرنهايت (٠° مئوية)، وهي درجة حرارة معظم المجمدات، يكون الجليد الصلب في توازن مع بخار الماء، مع أن ضغط البخار أقل من ضغط الجو، ومن ثم يتبخر الماء في المجمد، لكن لأن المجمد مغلق معظم الوقت، قد نظل نتوقع انخفاض الماء إلى الحد الأدنى. إلا أن الصعوبة تكمن في أن المجمدات الخالية من الثلج تحتفظ بخلوها من الثلج بانتشار الهواء وتجميع بخار الماء قبل أن تأتي له الفرصة ويستقر في جوانب المجمد في هيئة ثلج. بكلمات أخرى، نظرًا لأن الماء يُزال باستمرار بسبب انتشار الهواء، لا يكون الماء الذي في المجمد في حالة اتزان، فهو لا يكون في حالته السعيدة، الحالة التي يكون متوازنًا فيها مع بعض الماء في الحالة السائلة وبعض الماء في الحالة البخارية. ينتج المزيد من بخار الماء من الأطعمة نظرًا لأن النظام يحاول أن يستعيد التوازن، وهذه الدفعة لإحداث التوازن تعلل سبب تضاؤل مكعبات الثلج ببطء في المجمد، وتعلل أيضًا سبب «فساد» البيتزا الموضوعة في كيس غير محكم الغلق، وبذلك لا تظل البيتزا باقية إلى انقضاء الدهر. ويعد أخذ ما يحدث عندما ينشر أحدهما ملابسه لتجف في قارة أنتاركتيكا بعين الاعتبار، يعد امتدادًا شيقًا لهذا التوضيح المتعلق بالتوازن الفيزيائي، فهل تجف هذه الملابس؟ نعم تجف، مادام الهواء يعمل على إزالة بخار الماء الذي يحيط بالملابس مباشرة؛ فإن تجمد بخار الماء في الملابس سوف يجعل التبخير يسعى لاسترداد التوازن.

أما النوع الآخر من التوازن الذي سنتعرض له الآن، التوازن الكيميائي، فهو معروف من جميع النواحي لكن لا يمكن فهمه بسهولة دائمًا، فهو بالتأكيد غاية في التعقيد، لكن سواء كان معقدًا أم لا، فإننا متجهون إليه الآن.



تجربة ١٥: جميع الأشياء متساوية

«دون حدوث أي تغير موضوعي أيًّا كان هذا التغير، يحل التنوع محل الرتابة والملل. مضيفه وأهل مضيفه ... بدءوا في تمييز أنفسهم كما يحدث في العمليات الكيميائية.»

توماس هاردي «تس سليلة دربرفيل» ١٨٩٠

ارتد نظارة الأمان الواقية. خذ محلول كبريتات النحاس كما هو معد في «قائمة المشتريات والمحاليل»، وصب نحو بوصتين في كوب زجاجي شفاف أو كوب بلاستيكي شفاف يمكن الرؤية من خلاله بوضوح. ضع في زجاجة مياه غازية شفافة نصف كوب من الماء (١٢٠ مليلترًا)، ثم استخدم القمع لتضيف ملعقتي طعام من بيكربونات الصودا إلى الماء. رج المحلول. صب من اثنين إلى ثلاث بوصات (٥ سم) من الخل في زجاجة صودا شفافة أخرى في أثناء الوقت المنقضي حتى يستقر المحلول.

أضف من ثلاث إلى أربع قطرات من محلول بيكربونات الصودا إلى كبريتات النحاس، وتأكد من عدم انتقال بيكربونات الصودا غير المذابة إلى المحلول وأنت تضيف القطرات. يمكنك تجنب انتقال بيكربونات الصودا غير المذابة

باستخدام قطارة العين أو ماصة يمكنك أن تسحب المحلول من خلالها بسد إحدى طرفيها بإصبعك حتى يمكنك سحب بعض القطرات من أعلى المحلول، وكن حذرًا من أن تهيج الراسب الذي في قاع الزجاجة.

بمجرد أن تضيف بيكربونات الصودا إلى محلول كبريتات النحاس، يتكون راسب خفيف ملون بلون باهت ويترسب في قاع الكوب. ولأنك كنت حذرًا في عدم إضافة أي مواد صلبة، يجب أن يكون هذا الراسب هو ناتج تفاعل كبريتات النحاس مع بيكربونات الصودا الذي هو كربونات النحاس.

أيون النحاس + أيون الكربونات ← كربونات النحاس (الصلبة)

إذا أضفت مرة أخرى قليل من قطرات محلول بيكربونات الصودا، تلاحظ أن حجم الراسب يزداد، ويظل المحلول الذي يعلو الراسب ملونًا باللون الأزرق الذي يشير إلى وجود كبريتات النحاس التي لم تدخل في التفاعل.

الآن أضف العديد من قطرات الخل إلى الكوب ثم لاحظ حدوث الفوران الذي يوضح زوال الكربونات من المحلول. تذكر أن الخل حامضي وأن بيكربونات الصودا قاعدية.

لذا فهما يتفاعلان معًا مكونان حامض الكربونيك الذي يذوب علي التوالي إلى ماء وفقاعات ثاني أكسيد الكربون.

خل + بيكربونات الصودا ← ثاني أكسيد الكربون + ماء

إذا لاحظت بعناية فسوف ترى أن الفوران يحدث على سطح المحلول بمجرد إضافة قطرات الخل. استمر في إضافة قطرات الخل إلى أن يتوقف المحلول عن الفوران. قد تحتاج إلى تقليب المحلول قليلًا في الكوب بعد كل مرة تضيف فيها قطرات الخل، وعندئذ ينبغي أن يبدأ الراسب الذي في القاع في الاختفاء بسبب إضافة الخل وزوال أيون الكربونات.

كربونات النحاس + الخل ← أيون النحاس + ثاني أكسيد الكربون + ماء

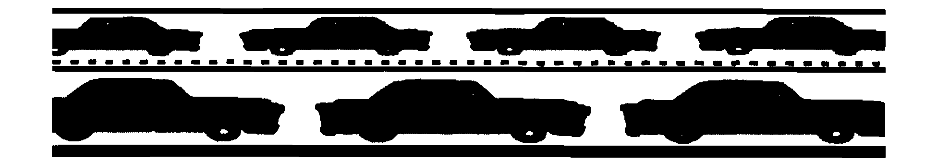
وعند توقف الفوران واختفاء الراسب، أضف محلول كربونات الصودا مرة أخرى إلى أن يتكون الراسب. عندئذ أزل الراسب مرة أخرى عن طريق إضافة قطرات الخل. وهكذا تستمر عملية التقدم والتراجع مادام توالى تعكير النظام

عن طريق إضافة أو إزالة أيون كربونات بإضافة الخل. (أو حتى يصبح المحلول مخففًا للغاية، لكن من المحتمل أن يمتلئ الكوب قبل حدوث هذا.)

عند إضافة كربونات الصودا في بادئ الأمر، تخرج كربونات النحاس من المحلول حتى يحدث تعادل النظام، بمعنى أن النظام أصبح مستقرًّا ومتوازنًا مع أقصى كميات يمكن أن يتشبع بها المحلول من أيونات النحاس والكربونات. غير أن التفاعلات الكيميائية ليست شوارع ذات اتجاه واحد، لكن معدل التدفق يحدث في الاتجاهين، من ثم عندما حدث خلل لهذا النظام المتعادل عن طريق إزالة بعض من أيونات الكربون بالسماح لها بالتفاعل مع الخل، حدث التفاعل العكسي، واستعاد النظام توازنه عندما أُعيد بعض من الراسب إلى المحلول مرة أخرى، وعندما أُضيف المزيد من أيونات الكربونات، استجاب النظام عن طريق تكوين المزيد من الراسب مرة أخرى.

إن فهم عملية التقدم والتراجع الذي يحدث في التوازن الكيميائي في غاية الأهمية لفهم فن التلاعب في التفاعلات الكيميائية وهو موضوع المناقشة التالية.





الفصل الخامس عشر

الاتزان الكيميائي: الكيمياء ثنائية الاتجاهات

«جلست ليلي محدقة وهي غارقة في التفكير في الدخان الخارج من سيجارتها الذي يأخذ شكل حلقات زرقاء اللون.»

ثم نطقت أخيرًا قائلة: «إنه يبدو لي أنك قضيت قدرًا لا بأس به من الوقت مع العنصر الذي تستنكره.»

استقبل سيلدن هذه اللطمة دون أن يرتبك ورد قائلًا: «بلى، لكن الخيمياء الحقيقية تكمن في القدرة على إرجاع الذهب مرة أخرى إلى شيء آخر، وهذا هو السر الذي خفي على معظم أصدقائك.»

الكاتبة الأمريكية إيديث وارتون في روايتها «بيت المرح» ١٩٠٥

كان الغرض من التجربة السابقة، «كل الأشياء متساوية»، هو إيضاح ثلاثة أشياء غاية في الأهمية والحساسية فيما يتعلق بالتفاعلات الكيميائية ألا وهي: أولًا: مع أننا غالبًا ما نرمز للتفاعلات الكيميائية بأسهم صغيرة، تشير إلى اتجاه التفاعل من المتفاعلات إلى النواتج كالآتي:

$$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O$$

فإنه في حقيقة الأمر، كما رُجح مرات عديدة في المناقشات السابقة، فإن التفاعلات الكيميائية هي تفاعلات ثنائية الاتجاهات، بمعنى أنها تفاعلات قابلة للارتداد مرة أخرى. إذا كان من الممكن أن تصبح أحد المواد المتفاعلة مادة ناتجة، فمن ثم يكون من الممكن للمادة الناتجة أن تصبح مادة متفاعلة أيضًا. ولذلك، مع أننا لم نؤكد على هذا الجانب في التفاعلات الكيميائية حتى الآن، فإنه كلما حدث تفاعل كيميائي كان من الطبيعي أن يوجد خليط من المتفاعلات والنواتج التي يُطلق عليها «خليط الاتزان».

في بعض الأحيان يكون من المؤكد أن التفاعل يسير باتجاه النواتج في المقام الأول، فعلى سبيل المثال، عندما ينفجر البارود، فغالبًا ما يتحول بأكمله إلى نواتج، واللفظة «غالبًا» هي صفة في غاية الأهمية هنا، إذ إن بقايا البارود ستزيد من شر الكثير من المجرمين وفي أوقات أخرى ربما يظل مزيج التفاعل كما هو، إذ تبقى مواد المتفاعلات كما هي دون أن تدخل في تفاعل، وهو ما قد نواجهه في طريقة هابر التي تستخدم لتحضير النشادر، وهو ما يمكن أن نسترجعه من مناقشتنا لتفاعلات الحالة الغازية؛ إذ يكون كل من غازي الهيدروجين والنيتروجين حوله، لكن عليه أن يبذل قصارى جهده كي يخلطهما معًا لعمل النشادر. غير أن تفاعلات عديدة أخرى تشبه تفاعلات اللبن المُختر، اللبن المُختر هو اللبن الذي تتكون فيه الخثارة التي يمكن صنعها عن طريق إضافة الخل إلى اللبن، فما إن يُضاف الخل حتى تتكون الخثارة في التو، لكن يتبقى بعض اللبن والخل دون أن يتفاعلا معًا، ويحدث هذا التفاعل بسرعة شديدة لكنه بمجرد أن ينتهي، تظل نسبة خثارة اللبن واللبن غير المتخثر والخل كما هي على مر الوقت، إذ يصل التفاعل إلى حالة من الاتزان.

النقطة الثانية التي أردنا أن نوضحها من تجربة «كل الأشياء متساوية» هي أن قول «إن التفاعل قد وصل إلى حالة الاتزان» هو ليس بنفس معنى قول «لا يوجد مزيد من التفاعلات». في الواقع، تميل مخاليط الاتزان إلى أن تكون نشطة للغاية — مع استمرار تحول المتفاعلات إلى نواتج والنواتج إلى متفاعلات مرة أخرى. ويمكن توضيح هذه الخاصية الحركية للنظام الكيميائي بطريقة مباشرة كالآتي: اقطع قطعة من ورق الحمام وضعها على حافة كوب يحوي القليل من الماء بحيث يتدلى طرف قطعة الورق في الماء. يرتفع الماء في قطعة الورق لكن إلى حد معين إذ يصل كل من الماء وورق الحمام في آخر الأمر إلى

حالة من الاتزان بين جذب الورقة للماء والانجذابات التي تحدث بين جزيئات الماء نفسها، والجاذبية التي تشد الماء لأسفل. انتظر عشر دقائق حتى تسمح للورقة أن تتشبع بأكبر قدر ممكن من الماء، ثم أضف قطرة ألوان الطعام في بقعة بعيدة تمامًا عن قطعة الورقة المتدلية في الماء، نجد أن لون الطعام ينتشر عن طريق الأنتروبيا (كما برهنا في الفصل الذي يدور حول الديناميكا الحرارية)، وفي النهاية يتسلل اللون لأعلى إلى الورقة أيضًا. يمكن للون أن يتسلق لأعلى للورقة لأن جزئيات الماء التي تكون في حالة اتزان تغير الأماكن باستمرار، إذ تصبح بعض جزيئات الورقة جزيئات ملطخة بالماء وجزيئات الماء هي جزيئات الورقة. وعند إضافة الصبغة تجلب جزيئات الماء الجديدة التي تحل محل الجزيئات القديمة الصبغة معها أيضًا إلى الورقة.

لكن مع كل هذه الأنشطة الحادثة، فإن النظام لا يزال يحتفظ بالاتزان لأن المتفاعلات تتحول إلى نواتج والنواتج تتحول إلى متفاعلات بمعدلات تحفظ نفس الكميات النسبية من المتفاعلات والنواتج، ونطلق على هذا النوع من الاتزان «الاتزان الحراري». ومع أن التأثير النهائي قد يبدو بلا تغيير فإنه يُحفظ ثابتًا هكذا عن طريق معدلات التغيير الثابتة. ويمكن أن نشبه ذلك بما يحدث في حركة المرور، فعند مشاهدة إحدى إشارات المرور من طائرة هليكوبتر نجد أن كثافة السيارات المزدحمة في إحدى الطرق العامة تبدو ثابتة تمامًا، لكنها في الواقع نتيجة للتغيير الثابت: فثمة عربات تدخل وتخرج طوال الوقت.

ولنتطرق الآن إلى النقطة الثالثة من النقاط التي خلصنا إليها من تجربة «جميع الأشياء متساوية»، فكنتيجة لكل هذه الأنشطة — التي هي تحول النواتج إلى متفاعلات والمتفاعلات إلى نواتج — نستنتج أن التفاعلات الكيميائية تتسم بالمرونة، فهي يمكنها أن تستجيب للتغييرات وتتكيف طبقًا لها. فإذا أُزيلت النواتج، يستجيب النظام لذلك بتكوين المزيد من النواتج حتى يحدث الاتزان مرة أخرى. وإذا أُضيفت المتفاعلات، يكون رد فعل النظام هو تكوين المزيد من النواتج. وقد يتطابق هذا مع الاتزان الحادث في التشبيه السابق بحركة المرور بين السيارات في الطرق الجانبية والسيارات في الطريق العام:

السيارات في الطرق الجانبية[1] ⟵ السيارات في الطريق العام

وتمثل السيارات في الطرق الجانبية المتفاعلات والسيارات في الطريق العام النواتج، ويشير السهم هنا إلى الطريقين لأن السيارات تتدفق إلى الطريق العام وتخرج منه، ويكون نوع الاتزان هنا هو اتزان حركي وانعكاسي.

وفي الصباح الباكر يمكن أن يوجد عدد قليل من السيارات في الطرق الجانبية وقليل من السيارات في الطريق العام، لكن في السابعة والنصف صباحًا يتزايد عدد السيارات في الطرق الجانبية على حين غرة.

السيارات في الطرق الجانبية ⟵ السيارات في الطريق العام

وعلى الفور يستجيب النظام ويتزايد عدد السيارات في الطريق العام حتى يحدث الاتزان مرة أخرى.

السيارات في الطرق الجانبية ⟵ السيارات في الطريق العام

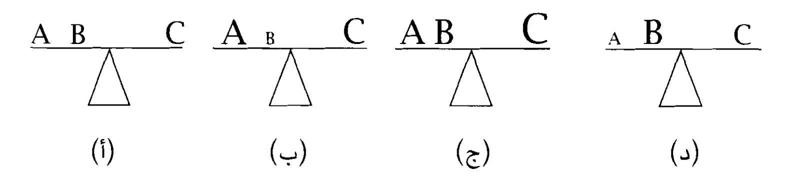
وبالرجوع إلى تجربتنا الكيميائية السابقة، نجد أن لدينا موقفًا حركيًّا وانعكاسيًّا أيضًا، إذ يتكون راسب كربونات النحاس لكنه ذاب مرة أخرى أيضًا. فعندما أضفنا الخل، فإننا أزلنا بعض الكربونات من الاتزان. والمادة الصلبة المذابة مرة أخرى ليست إلا محاولة لاسترجاع تركيزات متزنة لكل من النواتج والمتفاعلات.

أما قدرة النظام الكيميائي للاستجابة للضغط فهي مُعبر عنها في قاعدة لوشاتيليه التي سُمِّيت على اسم العالم الفرنسي الشهير الذي عاش في أوائل القرن العشرين، هنري لوشاتيليه Henry Le Châtelier.[١] فأينما وُجد نظام كيميائي في حالة اتزان مضغوطًا، فإن النظام سوف يغير اتجاهه بطريقة تقلل من هذا الضغط، وقد يحدث هذا الضغط من جراء حدوث تغيير في كميات النواتج أو المتفاعلات، مما يعني أنه يمكننا أن نلاطف المتفاعلات لإنتاج المزيد من النواتج حسب الحاجة، لنر تفاعلًا عامًّا على سبيل المثال:

$$A + B \longleftrightarrow C$$

على أن يكون A، B مواد التفاعل، C الناتج.

[١] ملحوظة هامة: يرمز للاتزان بين المتفاعلات والنواتج بسهمين ⇌ كما اتفق عليه (IUPAC) وهنا يستخدم المؤلفان ⟵ لذا لزم التنويه.



شكل ١-١٥-١: أن التوازن يمكن أن نراه كما لو كان أرجوحة في وضع اتزان، وعندما يتغير أحد الطرفين، يعدل الطرف الآخر من نفسه كي يسترجع التوازن.

ويمكن أن نستخدم التشبيه التقليدي المستخدم للأرجوحة هنا، ولن نخجل من استخدامه لأن هذه الصورة تخدم الغرض جيدًا. عندما يكون النظام متزنًا، تكون الأرجوحة في وضع اتزان. ويبرز شكل ١-١٥-١(أ) الموقف.

إذا زودنا من كمية A، يستجيب النظام باستهلاك B لتكوين C، ومن ثم يستعيد النظام توازنه، ويُوضح هذا الموقف الشكل ١-١٥-١(ب) وحتمًا ستكون هذه الحيلة مفيدة إذا كنت تدير عملًا الغرض منه إنتاج المادة C. أما إذا كان الغرض هو إنتاج المادة B، فثمة حيلتان يمكنك إجراؤهما؛ أولهما: يمكنك زيادة C كي تدفع للحصول على المزيد من المادة B، وهو ما سيعمل على الحصول على المزيد من A أيضًا. ويُوضح هذا الموقف شكل ١-١٥-١(ج) وقد ذكرنا في مناقشتنا حول مذيبات الماء أنه بعدما يتشبع مذيب الماء بأيونات الكالسيوم، يمكن إزالة هذه الأيونات عن طريق الغسيل العكسي باستخدام كميات كبيرة من الصوديوم. وتعد عملية الغسيل العكسي المرتد هذه مثالًا على زيادة المادة الناتجة لتغيير اتجاه الاتزان للخلف باتجاه المتفاعلات.

وهكذا بالتبادل، يمكنك إزالة بعض من المادة A، مما قد يسبب تغير اتجاه التفاعل نحو المتفاعلات في محاولة لاسترجاع الاتزان، وفي حين تُضاف المادة A، يتكون المزيد من المادة B، وتُستنفد المادة C، ويوضح هذا الموقف شكل ١-١٥-١(ج). ولطالما أُستخدمت كل من تلك التقنيات في أوقات عديدة في التطبيقات الصناعية، فهي ذات فائدة كبيرة للغاية.

ومن الممكن أن يحدث أيضًا التوتر في الاتزان بسبب التغيير في كمية الطاقة المتاحة، فإذا كان التفاعل يتطلب طاقة، فمن الممكن أن يُنظر للطاقة على أنها أحد المتفاعلات. عندما أذبنا بيكربونات الصودا في الماء، لاحظنا أن

المحلول أصبح باردًا، ورأينا أيضًا أن تدفئة محلول بيكربونات الصودا ساعدت على زيادة قابلية بيكربونات الصودا للذوبان.

حرارة + بيكربونات الصودا + ماء ⟵ محلول بيكربونات الصودا

وعند أخذ هذه الملاحظة بعين الاعتبار إلى جانب قاعدة لوتشاتيليه، يمكننا التحكم بالتفاعلات بالحرارة، فإذا كان التفاعل يتطلب وجود حرارة، فإن إيجاد الحرارة سوف يغير اتجاه التفاعل ليسير في اتجاه النواتج.

حرارة + بيكربونات الصودا + ماء ⟵ **محلول بيكربونات الصودا**

ويمكننا أن نغير اتجاه الاتزان إلى الطرف الآخر عن طريق تبريد المحلول، الذي هو في جوهره عملية إزالة للحرارة. عندما تركنا محلول بيكربونات الصودا الدافئ ليبرد، نتج المزيد من بيكربونات الصودا من المحلول.

حرارة + **بيكربونات الصودا** + **ماء** ⟵ محلول بيكربونات الصودا

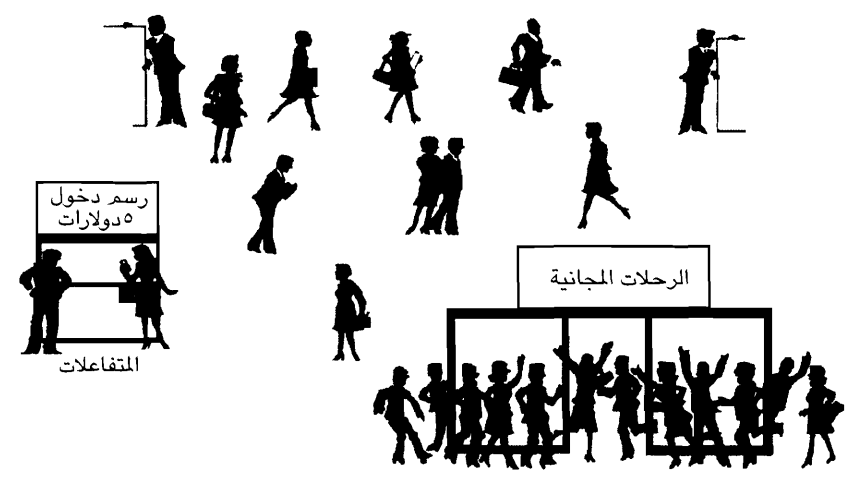
والآن، بعد أن برهنا أن التفاعلات الكيميائية هي تفاعلات حركية وانعكاسية، من ثم يكون التفاعل الكيميائي خليطًا متزنًا للمتفاعلات والنواتج. وقد شاهدنا أيضًا أن التفاعل يميل بقوة في بعض الأحيان إلى أن يسير في اتجاه النواتج (كما في تفاعل البارود)، وأحيانًا في اتجاه المتفاعلات (كما في طريقة هابر لتخليق النشادر من النيتروجين والهيدروجين). غير أننا لم نجب على هذا السؤال: لماذا يميل التفاعل في بعض الأحيان إلى السير في اتجاه المتفاعلات وفي أحيان أخرى في اتجاه النواتج؟ وما هو الشيء الذي يحدد الاتجاه الذي سيركن إليه التوازن؟

الطاقة هي أحد العوامل المحددة، فالميل الطبيعي للنظم الكيميائية، وكذلك الحال مع النظم الفيزيائية الأخرى، هو الاتجاه إلى حالة أدنى من الطاقة. فعلى سبيل المثال تعادل الأحماض القواعد. وتضعف البطاريات. فعندما تتساوى كافة العوامل الأخرى، فإن التفاعل سيعدل تلقائيًّا من وضعه كي يقلل من طاقته ويفرغ الطاقة الزائدة في العملية. لكننا رأينا حامض الستريك يتوغل في المحلول بمنتهى التلقائية، فبرّد الخليط — لقد امتص الطاقة — من ثم لا تكون الطاقة الأدنى هي الأمر الوحيد الذي يُعتد به. ولكي نفهم العامل

الثاني الذي يلعب دورًا هنا، ضع نصب عينيك الأمثلة التي طرحناها في بداية هذه المناقشة، لقد سار أحد التفاعلات في اتجاه النواتج تمامًا على حد التقريب وهو تفاعل البارود، في حين ظل الآخر تمامًا على حد التقريب كمتفاعلات، كما الحال في عملية تخليق النشادر من النيتروجين والهيدروجين. فالتفاعل الذي سار في اتجاه النواتج، كوَّن نواتج في الحالة الغازية. والتفاعل الذي ظل في حالة المتفاعلات قدم متفاعلات لكنها أكثر في الحالة الغازية. ما المثير في الحالة الغازية إذن؟ وما الذي تتمتع به الحالة الغازية دون الحالات الأخرى؟ المثير الذي تتمتع به الحالة الغازية هو الأنتروبيا، إذ تتمتع بالأنتروبيا الفياضة. وما يحدد وضع الاتزان في آخر الأمر، ما إذا كان يميل إلى اتجاه المتفاعلات أم النواتج أم فيما بينهما هو المقايضة التي تحدث بين الطاقة والأنتروبيا، وهو الموقف الذي يمكن أن يُشبه بمعرض تجاري.

لقد انتشرت جدًّا المعارض التجارية في عالمنا المعاصر لدرجة أنه يوجد الآن معارض تجارية لأي شيء ولأي أحد، بداية من محبي الحاسبات الآلية إلى الرحالة ومن الكيميائيين إلى موظفي الإصلاحيات. في المعارض التجارية، وكذلك في المعارض التي تُقام في المراكز الكبرى المتخصصة في ذلك، يقيم الناس الذين يتخصصون في تجارة سلعة معينة أو يخدمون فئة معينة من الناس أكشاكًا لعرض بضائعهم. ولأن الغرض من المعرض التجاري هو فعليًّا الإعلان عن السلعة أكثر من بيعها، فإن العاملين يقيسون نجاحهم بعدد الناس الذين زاروا أكشاكهم، وقد يقدم البائعون هدايا لجذب الزوار إلى أكشاكهم، مثل أقلام وقصافات أظافر وحافظات أوراق وما إلى ذلك. وفي معرضنا التجاري للاتزان سوف نتخيل معًا شركة صغيرة وجريئة للغاية قررت أن تقدم رحلات مجانية كهدايا لأي أحد يزور كشكها، والآن لنر ما يمكن أن يترتب على هذا الفعل.

بادئ ذي بدء، لنعتبر أن الكشك والهدايا المجانية يمثل حالة الطاقة المنخفضة، وسنضع هذا الكشك في جانب النواتج من صالة العرض. ولنتخيل الآن كشكًا آخر يكون رسم دخوله خمسة دولارات، وسوف نطلق عليه حالة الطاقة المرتفعة، وسوف نضعها في جانب المتفاعلات في صالة العرض. ويوجد فيما بينها وفي أنحاء أخرى أكشاك لا تقدم هدايا ولا يتطلب دخولها رسم دخول. والآن سوف نفتح الأبواب وندع الزوار يدخلون. وكما يمكن أن نتخيل،

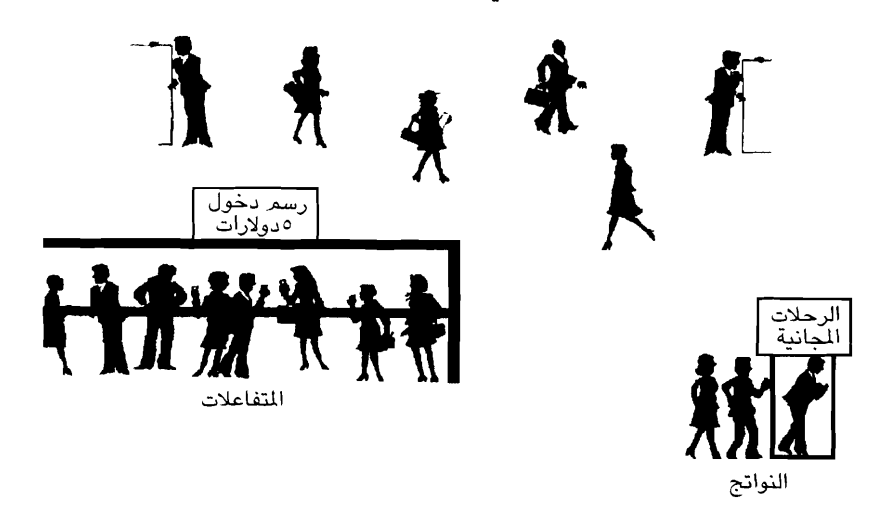


شكل ١-١٥-٢: الحضور عند المعرض التجاري يميل للتجمع عند الكشك الكبير الذي يقدم الرحلات المجانية، لأن هذا الكشك يوعد برحلات الاستجمام المقللة للطاقة.

على الفور سينجذب الكثير من الناس إلى كشك الطاقة المنخفضة للحصول على رحلاتهم المجانية، ويتضح الموقف من شكل ١-١٥-٢. والتفاعل الممثل هنا يميل إلى اتجاه النواتج لأنه عند الذهاب إلى النواتج تنخفض الطاقة في شكل استرخاء. فالرحلات المجانية تقلل الطاقة.

غير أنه لن يكون بإمكان كل الناس الذهاب إلى كشك الهدايا المجانية لأنه لا يوجد مساحة حول الكشك كافية لتسع كل الناس، بعض الناس سوف يُدفعون إلى الخارج وسوف يجدون أنفسهم مدفوعين نحو أكشاك أخرى. سوف ينتشر الناس عبر كل أنحاء صالة العرض لأن الناس لا تحبذ أن تكون متكدسة معًا، وسوف نطلق على هذه الرغبة في الانتشار بعشوائية «الأنتروبيا».

إذا كنا نمسك بأيدينا حفنة من السكر فمن المؤكد أن ثمة جزيئًا من السكر في قبضة يدنا، لكن إذا ألقينا هذه الحفنة في المحيط، فإن جزيئات السكر سوف تنتشر إلى أربعة أطراف الكرة الأرضية. وهذا الدفع الذي تثيره الأنتروبيا يمكن أن يدفع بعض المتفاعلات على الأقل كي تمتص مقدارًا ضئيلًا من الحرارة وتصعد في صورة طاقة. ولأن الناس لديهم رغبة في الانتشار فإن بعضهم سوف يذهب إلى كشك الطاقة المرتفعة ولعل واحدًا أو اثنين سيدفع



شكل ١-١٥-٣: أنه إذا تكدس كشك الهدايا المجانية بالناس، فإن الناس سوف ينجذبون إلى الكشك الذي سيسمح لهم بالتحرك بحرية بالرغم من التكلفة العالية.

الخمسة دولارات رسم الدخول. وتتحكم رغبة الحضور في تقليل طاقتهم والانتشار في معدل الاتزان النهائي الذي حدث بين الناس في كشك النواتج والناس في كشك المتفاعلات لكن الميل سيكون إلى اتجاه النواتج.

دعونا الآن نُدخل بعض التعديلات الطفيفة على الموقف، لنجعل مساحة كشك الرحلات المجانية صغيرة للغاية ومساحة كشك الخمسة دولارات كبيرة جدًّا. نجد أن عددًا قليلًا من الناس يذهب إلى كشك الرحلات المجانية لأن الناس تمقت الانحشار معًا في مكان صغير، ويفضلون التحرك بحرية في مكان فسيح، لذا سيجد عدد كبير من الناس أنفسهم في كشك الخمسة دولارات الفسيح، مع أنه سيكلفهم خمسة دولارات. ومن ثم سوف يُحفظ معدل توازن الموقف. وسيميل هذا الاتزان إلى اتجاه المتفاعلات كما هو موضح في شكل رقم ١-١٥-٣.

وتتصرف التفاعلات الكيميائية بهذه الطريقة نفسها أيضًا. في حال حدوث الاتزان توزع الجزيئات نفسها بين النواتج والمتفاعلات بطريقة تسمح لها بتقليل الطاقة إلى أدنى حد وتعظيم الوصول إلى أقصى حد من الأنتروبيا. لكن ثمة مقايضة دائمًا، ومع ذلك إذا لم تكسب الأنتروبيا الكثير في كلتا الموقفين،

فإن الطاقة الأدنى هي التي ستكسب الجولة. أما إذا كان هناك الكثير من الأنتروبيا لتُكتسب، فحتى التفاعلات التي تتطلب لحدوثها طاقة يمكن أن تحدث تلقائيًّا.

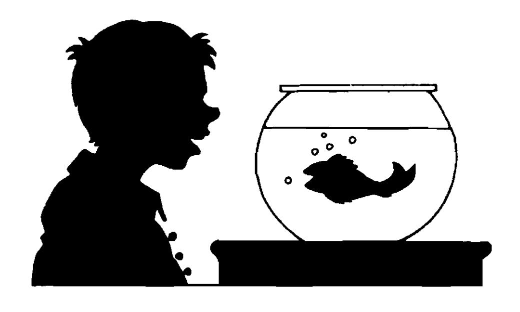
وبالطبع تتضمن بعض التفاعلات كل هذه المقومات — ففي الاحتراق الذي يحدث في محركات السيارات، يقلل الجازولين الطاقة عن طريق طرد الحرارة ويزيد الأنتروبيا عن طريق التحول إلى غازات، وتتسبب الطاقة المتولدة في تمدد الغازات بل وزيادة الأنتروبيا أيضًا.

جازولين + أوكسجين ← ثاني أكسيد الكربون + ماء

من ثم تكون النواتج الأساسية الخارجة من شكمان السيارة هي ثاني أكسيد الكربون والماء — مع القليل من السخام وأكسيد النيتروجين كما ذكرنا من قبل.

من ثم نكون قد بلغنا مرادنا، وعليه يُحدد الوضع النهائي للاتزان عن طريق الرغبة في تقليل الطاقة وتعظيم الأنتروبيا وهو أقصى حالة من استقرار النظام، وتحدث المقايضة بين الطاقة والأنتروبيا. وقد نتذكر من مناقشتنا للديناميكا الحرارية أننا أطلقنا على هذه المقايضة مصطلح «الطاقة الحرة». وعندما لا يتوافر المزيد من الطاقة الحرة لكي تُطلق أو لكي تعمل، فإننا نكون قد وصلنا إلى حالة مُرضية من الاتزان الساكن.

ودائمًا يحقق الاتزان النجاح، ومع أنه قد يُحرم من أن يكون له تأثير لوقت ما، بل وقد يدخل النظام في حالة شبه استقرار، فإنه يسود في نهاية الأمر. وتحظى التفاعلات الكيميائية بالمقدرة على الاستجابة لحالة الطاقة المنخفضة والأنتروبيا المرتفعة والتأقلم معهما، وذلك لأن التفاعلات الكيميائية تتسم بالقدرة على التحرك والانعكاس. وتعني القدرة على التحرك والانعكاس أن التفاعلات الكيميائية يمكن أن تكون غاية في المرونة، ويمكن ملاطفتها للحصول على المزيد من النواتج أو الرجوع إلى متفاعلات مرة أخرى. وتعد مثل هذه الممارسات أمرًا حتميًّا في الصناعة والمعامل الكيميائية. غير أنها تحظى بأهمية تفوق كل ذلك، فالاتزان يخصنا جميعًا في حياتنا اليومية ما دمنا نحيا ونتنفس.



على سبيل المثال: الشهيق والزفير

يلعب الاتزان أدوارًا كثيرة في الأنظمة الحيوية، وأحد هذه الأدوار الذي قد يكون أكثر اعتيادًا لنا هو ذلك الدور الذي نختبره من ألف إلى ثلاثة آلاف مرة في الساعة الواحدة، على مدار أربع وعشرين ساعة يوميًّا — سواء كانت السماء تمطر أو الثلوج تتساقط، سواء كنت نائمًا أو مستيقظًا — وسنتناول الآن الاتزان الذي يحدثه التنفس. وهنا سوف نعتبر الهيموجلوبين الخالي من الأوكسجين، والأوكسجين هما المتفاعلات، ومركب الهيموجلوبين المحمل بالأوكسجين هو الناتج. ويمكن أن نوضح هذا التفاعل بالمعادلة الآتية:

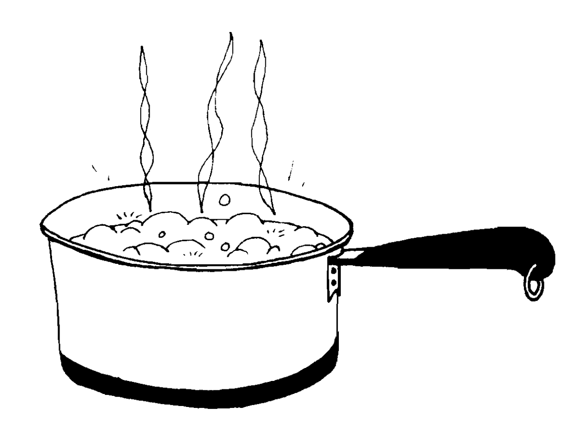
$$Hb + O_2 \longrightarrow HbO_2$$

ونجد داخل الرئتين أن الأوكسجين الزائد في الهواء الغني بالأوكسجين يساعد في تكوين المزيد من مركب الهيموجلوبين والأوكسجين HbO_2. عندئذ ينتقل الدم المحمل بمركب الهيموجلوبين والأوكسجين إلى الخلايا التي نضب منها الأوكسجين، وإذا وُجدت خلايا بعينها تعاني قلة الأوكسجين، فإن الأوكسجين يتدفق إليها.

وعندما يحوي الغلاف الجوي كمية أقل من الأوكسجين، كما هو الحال في الارتفاعات الشاهقة، فإنه قد لا يتدفق القدر الكافي من الأوكسجين إلى الرئتين. وعندما لا تحصل الرئتان على حاجتها من الأوكسجين يُصاب الفرد بالهيبوكسيا أو نقص الأوكسجين الذي قد يسبب وجعًا في الرأس وإعياء ودوارًا وتعثرًا وغثيانًا. ويفقد الجسم توازنه، وهو أمر غير مستحب للجسم. عندئذ يُشغل الجسم مبادئ الاتزان، لذا إذا حدث عجز في مكان ما، فإن الجسم يتدبر أمر نفسه كي يعوض هذا العجز. وبالتأكيد لا يستطيع الجسم

أن ينتج الأوكسجين، لذا فهو يقوم بالخيار التالي الذي أمامه فيصنع المزيد من مادة المكونات الأخرى وهي الهيموجلوبين. ومن ثم يمتلك قاطنو الجبال هيموجلوبين أكثر من أولئك الذين يعيشون في مستوى سطح البحر مرة ونصف المرة. وحتمًا يسبب صنع المزيد من الهيموجلوبين نقصًا في البروتينات المستخدمة لصنع الهيموجلوبين مما يضغط على الخلايا لصنع المزيد من هذه البروتينات مما يخلق سلسلة كاملة منتظمة من تفاعلات إعادة التوازن التي تحدث جميعها بدافع تقليل الطاقة وتعظيم الأنتروبيا.

والسؤال هنا: أيوجد تفاعل كيميائي لا ينطوي على تغيير في الطاقة والأنتروبيا؟ بالطبع لا. فتعريف التفاعل الكيميائي نفسه يقول إنه إذا كانت هناك مادة جديدة تتكون، فثمة روابط كيميائية تتكون وروابط تتكسر، مما يعني أنه سيكون هناك تغيير في الطاقة والروابط. في حقيقة الأمر، من الصعب أن نتخيل حدوث أية عملية، فيزيائية كانت أم كيميائية، تتضمن وجود طاقة دون أن يصاحبها وجود أنتروبيا. ومع ذلك، فثمة بعض العمليات الفيزيائية التي تدفعها الأنتروبيا ولا يصاحبها أي تغيير فعلي في الطاقة. ويعد الخلط الطبيعي لألوان الطعام والماء مثال على العمليات المدفوعة بالأنتروبيا. ففعليًّا، ثمة فئة كاملة من التفاعلات التي تدفعها الأنتروبيا وهو ما سنتعرض له الآن.



تجربة ١٦: موانع التجمد وموانع الغليان

> «شباب كل فرد هو حلم، هو نوع من الجنون الكيميائي.
> ما أبهج أن يصبح الفرد مجنونًا إذن!»

فرنسيس سكات فيتزجيرالد في روايته
«The Diamond as big as the Ritz» ١٩٢٢

سوف نشرح في هذه المجموعة المكونة من أربع تجارب الخصائص الترابطية الأربع للمحلول. وتصف الخصائص الترابطية الأربع للمحلول كيف أن وجود المذاب يغير تصرف تغير الحالة للمذيب. وتتشابك هذه الخصائص معًا لدرجة أنها لا تعتمد إلا على الطريقة التي يوجد بها العديد من ذرات المذيب معًا، ولا تعتمد على هوية الذرات نفسها. ويمكن أن نشبه ذلك بسلوك الجموع المحتشدة معًا من الناس، وهذه الجموع تميل إلى أن تتصرف بطريقة تتوقف على حجم الجموع وليس على الطبائع الفردية للناس الذين تتكون منهم المجموعة. وحتمًا تحظى شخصيات الناس بأهميتها عند مستويات معينة، وكذلك يكون لخصائص الذرات أهميتها في مواقف معينة أيضًا. غير أن التأثير النهائي الذي هو سلوك الجموع هو ما نعني به هنا.

والخصائص الترابطية التي سنلاحظها هي: الانخفاض في درجة التجمد، والارتفاع في درجة الغليان، وتقليل الضغط البخاري، والأزموسية (الانتشار الغشائي). وعليك الآن أن ترتدي نظارة الأمان الواقية إذ سنقوم بإجراء الأربع تجارب.

لإثبات الانخفاض في درجة التجمد، خذ زجاجتي صودا أو ماء مصنوعتين من البلاستيك وقديمتين ومعهما أغطيتهما ثم اغسلهما جيدًا بالماء. ضع كوب (٢٤٠ مليلترًا) ماء في كلتيهما ثم أغلق إحداهما. ضع في الأخرى ملء ملعقة طعام (١٥ مليلترًا) من ملح الطعام، ثم غطها ورجها جيدًا. إذا ذاب كل الملح في الماء ضع مرة أخرى القليل من الملح ورج الزجاجة أيضًا. استمر في إضافة كميات قليلة من الملح إلى أن تجد الملح لا يذوب بعد رج الزجاجة ويترسب بعضه في قاع الزجاجة. ضع علامة على الزجاجة المذاب فيها الملح بقلم فوسفوري أو بشريط لاصق، أحكم غلق الزجاجتين وضع كليهما في المجمد. لاحظ الزجاجتين من وقت لآخر، ستجد أن الماء العادي قد تجمد كما هو متوقع أما الزجاجة التي تحوي المحلول المشبع بالملح فنجد أن المحلول لا يتجمد إلا عند درجة حرارة منخفضة جدًّا، ولا توجد درجة الحرارة هذه في المجمد العادي، مما يدل على الانخفاض في درجة التجمد. ويمكنك أن تترك الزجاجتين في المجمد إلى أن تقتنع أن المحلول الملحي لن يتجمد.

وقد تكون الخاصية التي أوضحنها في التجربة الأولى مألوفة لديك إذا استخدمت من قبل الماكينة المستخدمة في صنع الآيس كريم. في هذه الماكينة، يُصب خليط الآيس كريم في وعاء وهذا الوعاء موضوع في حوض من المحلول الملحي المجمد. ويبرد خليط الآيس كريم المتلامس مع الحوض الملحي المجمد عند درجة أقل من درجة تجمد الماء. من ثم عندما يتلامس الماء الموجود في الكريم مع جوانب الوعاء، يتجمد. وتُدار الريشة المستخدمة في التقليب على نحو ثابت حتى يأخذ الكريم والثلج شكلًا شبه جامد وموحدًا. وتنخفض درجة تجمد خليط الآيس كريم المتلامس مع الحوض الملحي بسبب وجود مذاب منحل (هو الملح) في المذيب (الماء). وتقوم فكرة عمل موانع التجمد على نفس المبدأ. وموانع التجمد التي هي مواد غير آكلة، هي تلك المواد التي تُضاف إلى ماء مبرد السيارة لتقليل درجة التجمد، ومن ثم لا تتجمد مياه مبرد السيارة بسهولة.

أما الخاصية الترابطية الثانية التي تُدعى الارتفاع في درجة الغليان، فيمكن التدليل عليها باستخدام الخل. يُظهر الخل تأثيرات ترابطية لأنه محلول حامض الخليك المذاب في الماء. ويمكنك أن تقيس درجة غليان الخل باستخدام الترمومتر ذي المقياس الكبير المقترح في قائمة المشتريات والمحاليل. ولا تكون هذه الترمومترات على قدر من الدقة في كل الأوقات، من ثم لكي ترى الفرق عليك أن تقارن درجة حرارة الخل المغلي بدرجة حرارة الماء المغلي عن طريق وضع الترمومتر أولًا في أحدهما ثم في الآخر. وينبغي أن تجد أن الخل يغلي عند درجة ٢١٦ فهرنهايتي (١٠٢° مئوية) على حد التقريب بدلًا من درجة ٢١٢ فهرنهايتي (١٠٠° مئوية)، وهي درجة الحرارة التي يغلي عندها الماء النقي. وقد لا يعطيك الترمومتر هذه القراءة بالضبط، فينبغي أن تظل درجة الغليان التي للخل أعلى من تلك التي للماء. وتكون درجة حرارة المحلول أعلى في حال وجود المذاب، وهو ما يعد مثالًا على الارتفاع في درجة الغليان.

وتتضمن تجربتنا الثالثة القدرة المنخفضة للمحلول على التبخر عند مقارنته بالمذيب النقي. وأود أن أكرر مرة أخرى أن هذه الخاصية التي يُطلق عليها «تقليل الضغط البخاري»، لا تعتمد على الطبيعة الكيميائية للمادة لكن على الكم المنحل من المذاب في المذيب. أحضر ملعقتين، وافرك ثلاثة أقراص أسبرين، ثم خذ كوبين شفافين صغيرين وضع الأسبرين المفروك في أحدهما. صب في كل منهما نصف كوب (١٢٠ مليلتر) من كحول الأيزوبروبيل. ومن الضروري أن يكون المحلول عند نفس المستوى في كل منهما. قلب الكوب الذي يحوي كحول الأيزوبروبيل والأسبرين لتخلط المحتويات (قد يظل البعض غير ذائب). ضع بطاقة على كل منهما لتميز أي الكوبين يحوي الأسبرين، ثم ضعهما في نفس المناخ، من ثم يحصلان على نفس القدر من الحرارة والتيار الهوائي وهلم جرًّا. ويُفضل أن يوضع الكوبان متلاصقين في وعاء. اتركهما نحو ساعة، عندئذ عليك أن تلاحظ اختلافًا واضحًا في مستوى الكوبين. ومع أن المذيب يتبخر من كلا الكوبين، فإنه يتبخر بدرجة أكثر بطئًا من الكوب الذي يحوي الأسبرين. يحدث نفس التأثير عند استخدام أقراص الفيتامين أو الحديد المذابة في الكحول. من ثم الذي يُحدث التأثير هو وجود المذاب وليس طبيعته.

ولكي تعرف أن عدد جسيمات المذاب يُحدث اختلافًا، جرِّب تجربة الأسبرين السابقة مرة أخرى باستخدام ثلاثة أو أربعة أكواب، ونوع عدد الأسبرين في كل كوب. وبعد أن تتركها تتبخر لما يقرب من ساعة، ستحصل على ثلاثة أو أربعة مستويات مختلفة تمامًا من المذيب تتنوع ما بين القليل في الكوب الذي يحتوي على أقل عدد من الأسبرين إلى المرتفع في الكوب الذي يحتوي على أكبر عدد من الأسبرين.

وآخر خاصية ترابطية سنوضحها هي الأزموسية، وتعد عملية الأزموسية أكثر تخصصية لدرجة أنها تتطلب غشاء شبه منفذ. والغشاء شبه المنفذ هو تلك المادة التي تسمح بنفاذ جزيئات المذيب وليس جزيئات المذاب. يتدفق المذيب في عملية الأزموسية من أحد المحاليل إلى الآخر عبر غشاء شبه منفذ. وإذا كان كلا الوعاءين معرضان لنفس الضغط الجوي، فإن اتجاه التدفق يكون من المحلول الأكثر تخفيفًا إلى المحلول الأكثر تركيزًا.

ولكي نبين تدفق المذيب إلى المحلول الأكثر تركيزًا، ضع زبيبة أو أي قطعة أخرى من الفاكهة المجففة في الماء ثم لاحظها بعد مرور ما يقرب ساعة، تجد أن الزبيبة تنتفخ إذ ينتقل المذيب النقي الذي هو الماء عبر الغشاء شبه المنفذ — الذي هو قشرة الزبيبة — للزبيبة وإلى خلاياها في محاولة لتخفيف المكونات المركزة للخلايا. ولكي نبين على تدفق المذيب من المحلول الأقل ملحية للخلايا إلى المحلول الشديد الملوحة، قطع شريحتين من البطاطس النيئة بحيث تكونا رفيعتين بقدر الإمكان. وستجد أن شريحة البطاطس النيئة الرفيعة للغاية لا تزال قوية ونضرة لأن الخلايا المكونة للبطاطس تكون مشبعة بالماء. ضع إحدى الشريحتين في محلول ملحي شديد الملوحة بإضافة ملعقة طعام (١٥ مليلترًا) من ملح الطعام إلى نصف كوب (١٢٠ مليلترًا) ماء. ضع الشريحة الأخرى في ماء نقي. انتظر لمدة نصف ساعة ثم أخرج كلتا الشريحتين ثم افحصهما. نجد أن الشريحة التي كانت موضوعة في الماء النقي لا تزال نضرة، أما الشريحة التي كانت موضوعة في المحلول الملحي فستكون رخوة وضعيفة. قارن شريحة البطاطس التي كانت موضوعة في المحلول الملحي بشريحة بطاطس جديدة مقطوعة للتو، لتتبين الفرق. والسبب في ضعف شريحة البطاطس هو أن بعض الماء ترك الخلايا وانتقل إلى المحلول الأكثر ملحية.

وتُؤخذ حركة المذيب في الأزموسية التي تبدو سهلة من مصطلح «التعلم بواسطة الأزموسية». وينطوي التعلم بواسطة الأزموسية على أنه يمكن التشبع بالمعرفة عن طريق مجرد الجوار أي التواجد الزمني أو المكاني معها ولا يتطلب الأمر جهودًا من قبل المتعلم. لكن هذا غير صحيح، فما كان التعليم بلا عناء أبدًا، وسواء في التعليم أو في الكيمياء، فثمة قوى تدفع الأزموسية، كما هو الحال مع سائر الخصائص الترابطية الأخرى، كما سنكتشف في الصفحة التالية.





الفصل السادس عشر

الخصائص الترابطية: القوة في العدد

«في العلوم التجريبية، نُطلق على الأشياء التي نعرفها «قانون الحتمية» والتي نجهلها «القوة الحيوية». والقوة الحيوية ما هي إلا مصطلح يعبر عن البقية المجهولة، إلى جانب ما نعرفه عن جوهر هذه الحياة.»

الكاتب الروسي ليو تولستوي في رواية «الحرب والسلام» ١٨٦٦

عند التعامل مع التفاعلات الكيميائية، عادة تتعلق الأسئلة الأولى بنوعية المادة؛ ما المادة المتفاعلة؟ وماذا سيكون الناتج؟ ما رائحته؟ لكن عندما يتعلق الأمر بالخصائص الترابطية للمحاليل، يكون السؤال: ما مقدار المذاب؟ وليس ما نوعه. بكلمات أخرى، قد يهمك إذا كنت ستضع سكرًا أم خمرًا في الشاي الخاص بك، أما الخصائص الترابطية للشاي فلا تهم البتة مادمت ستضع نفس عدد الجزيئات من السكر أو الخمر.

والخصائص الترابطية للمحاليل هي خصائص فيزيائية وليست كيميائية، لأن الطبيعة الكيميائية للمذاب وللمذيب ستظل كما هي دون تغيير. في الواقع، في المحاليل التي تحوي قوى بينجزيئية بين الذرات شديدة، فإن المواد المذابة

المختلفة قد تتصرف بطرق مختلفة بدرجة طفيفة، غير أن التأثير العام سيكون هو نفسه. وتكون هذه التأثيرات وثيقة الصلة بعمليات كيميائية عديدة، ويمكنها أن تتحكم في الظروف المتنوعة تنوعًا كبيرًا قدر تنوع المهام التي تقوم بها الخلايا الحية للحفاظ على الحياة على الطريق السريع.

وتعد الخصائص الترابطية للمحاليل هي خصائص تغير الحالة وتتضمن مجموعة غريبة من التأثيرات. يشير الانخفاض في درجة التجمد إلى الملاحظة التي تقول إن المحاليل تتمتع بدرجة تجمد منخفضة عن درجة تجمد المذيبات النقية. فكلما أُضيفت ذرات من المذاب انخفضت درجة التجمد. ويستفيد العاملون بالطرق من هذا التأثير في الشتاء فيقومون برش الملح على الطرق الجليدية لإذابة الجليد، فكما ذكرنا في مناقشتنا لتغيرات الحالة أن الجليد يُغطى بطبقة رقيقة من الماء الذي يعود إلى التوازن الحادث بين حالات المادة. ويذوب الملح المرشوش على الجليد في طبقة الماء التي تكسو الجليد ويكون محلولًا مركزًا جدًّا. وكما أشرنا من قبل، يكون التوازن حركيًّا بمعنى أن الجزيئات في الحالة الصلبة تقوم باستمرار باستبدال الأماكن مع الجزيئات في الحالة السائلة. لكن الموقف يختلف قليلًا في هذه الحالة، فعندما تتحرك الجزيئات الصلبة نحو المحلول، فإنها تكوِّن محلولًا لم يعد عند نقطة التجمد، وعليه لا تعود مرة أخرى إلى الحالة الصلبة، فالاتزان يميل إلى اتجاه الحالة السائلة، ويجد عددًا أكثر فأكثر من الجزيئات نفسها في المحلول. وتستخدم الرمال أيضًا أحيانًا في الطرق الزلقة، غير أن الرمال تصلح للاستخدام في المواقف التي تتضمن وجود الجليد أو في الأماكن الموحلة حيث يكون السحب والجر أكثر من مجرد مشكلة. وعندما يكون الهدف هو إذابة الجليد، تُستدعى على الفور ناقلات رش الملح.

وتشير خاصية الارتفاع في درجة الغليان إلى حقيقة أن المحاليل تغلي عند درجات أعلى من تلك التي تغلي عندها المذيبات النقية. فكلما وُجد المزيد من المواد المذابة ارتفعت درجة الغليان. وعند إضافة مذاب مثل أحد المواد المانعة للتجمد إلى مذيب مثل ماء مبرد السيارة، فإن درجة تجمد المحلول في المبرد تنخفض، ومن ثم لا يتجمد بسهولة. وقد اتضح أنه يمكن أن يُطلق على موانع التجمد، موانع الغليان أيضًا، لأن نفس المواد التي تساعد في حفظ مبرد السيارة من التجمد هي نفسها التي تساعد في حفظه من الغليان. لكن ثمة تحذيرين ينبغي أن نذكرهما هنا؛ أولهما: موانع التجمد وموانع الغليان التي لا تتطلب

مبردات لا تتجمد أو تغلي قط، كل ما هنالك أنه يجب الوصول إلى درجة أقل من درجة التجمد أو درجة أعلى من درجة الغليان لتحقيق التجمد أو الغليان. وثانيها: المادة مانعة التجمد التي تُضاف إلى المبرد هي مادة مُخمرة سامة، ومن ثم لا ينبغي تجربتها.

وعندما نتحدث عن تقليل الضغط البخاري، فإننا نتحدث عن تصرف الأدخنة. أي مذيب مِتطاير لديه أدخنة مقترنة به، مثل الأدخنة اللاذعة التي تقترن بالبنزين أو الكحول. يُشار في لغة الكيمياء إلى هذه الأدخنة على أنها الأبخرة المتصاعدة فوق المذيب، وتتوقف كمية الأبخرة المقترنة بمذيب على درجة حرارة المذيب وهو السبب الذي يربط الكثيرون من أجله أدخنة البنزين بحرارة الصيف أكثر من برودة الشتاء. ويتوقف ضغط الأبخرة أيضًا على مقدار المذاب المنحل في المذيب.

أما خاصية الأزموسية فهي ميل المذيب إلى التدفق في اتجاه المحاليل الملحية لتخفيفها. والأزموسية هي التي تتولى مسئولية إحياء أوراق نبات الكرفس الذابلة عند نقعها في الماء النقي، إذ يتدفق الماء إلى داخل خلايا الكرفس كي يخفف الخلايا الملحية. والأزموسية هي المسئولة عن تخليل المخللات: إذ يتدفق الماء خارج المخللات ليخفف المحلول الملحي للمخلل. كيف يصل الطعم إلى المخلل؟ الأزموسية هي المسئولة عن الوصول إلى الاتزان، والمواقف التي يحدث فيها الاتزان هي مواقف حركية. وفي الاتزان يُعاد توزيع الجزيئات التي تحمل النكهة بين المخلل والمحلول الملحي. لنتذكر معًا التجربة التي استخدم فيها ورق الحمام وألوان الطعام، فقد سُمح لورق الحمام وهو في حالة اتزان أن يحمل قدرًا من الماء من جزء من الكوب، وعندئذ أُضيفت صبغة الطعام إلى هذا الجزء من الكوب. ولأن الاتزان حركي. فإن بعض ألوان الطعام انتقلت إلى الورقة. وفي حالة المخللات، يكون هناك في وضع الاتزان مقدار من الماء خارج خلايا المخلل أكثر من ذلك الذي داخلها، لكن ينتقل جزء من النكهة الموجودة في المحلول الملحي إلى داخل المخلل.

توجد الخلايا، وهذه الخلايا هي السبب في الحياة لأن أغشية الخلية أغشية شبه منُفذة، أي تسمح بدخول احتياجات الخلية إليها وتسمح بطرد ما لا تحتاجه، كما تحافظ على محتويات الخلية من أن تُهدر خارجها أو تقطر بعيدًا. ويمكن لواحد من هؤلاء الذين يمكثون أوقات طويلة في البانيو أن

يرى مثالًا على عمل الغشاء شبه المنفذ للخلية، إذ تتجعد بشرتهم. وإذا سألت بعضهم عن السبب، سيجيب الكثيرون أن سبب هذا التجعيد هو فقد البشرة للماء. في حقيقة الأمر، تحدث هذه الانثناءات والتجعيدات للبشرة بسبب انتفاخ البشرة بالماء الذي امتصته، فالسائل الذي يوجد في البشرة هو خليط من المواد المذابة تركيزه عالٍ جدًّا، فهو يتركب من بروتينات وأملاح وسكريات وبعض الجزيئات الأخرى، وعليه يحاول الماء الموجود في البانيو أن يتدفق إلى الخلايا في محاولة لتخفيف تركيز محتويات الخلية.

لكن الاستجمام الذي يحدث للجسم عند المكوث في البانيو ليس الفائدة الوحيدة التي تعود على الجسم من الأزموسية. فالجسم يستغل وجود مواد ذائبة معينة أو غيابها كي يحفز حدوث عمليات هامة ضرورية كثيرة لنمو الخلايا أو تكاثرها أو إصلاحها، أو يمنعها. لقد تمكن العالم الألماني جاك لوب، في نهاية القرن التاسع عشر من استثارة بيض غير مخصب لحيوان قنفذ البحر لكي يُنمي طور اليرقة عن طريق تغيير تركيز الملح في المحاليل المحيطة بها، ومن ثم يبث فيها الحياة باعتبارها عملية فيزيائية كيميائية وليس قوة حيوية خفية.[١]

ومع ذلك، فلا يزال يشوب الخصائص الترابطية للمحاليل قدر من الغموض منها وفي طبيعتها ذاتها. ويُشير الرأي السائد إلى أن ثمة عاملين أساسيين يدفعان السلوك الترابطي الذي يجري ملاحظته، أحدهما هو أن الوجود الفيزيائي للمذاب في المحلول يعوق الدور المعتاد الذي تؤديه ذرات المذيب. فعلى سبيل المثال، ينخفض الضغط البخاري لأن ذرات المذاب تشغل بعض مناطق السطح التي من المفترض أن يرحل منها المذيب إلى الحالة الغازية. ويتسبب هذا المنع للبخار في انخفاض الضغط البخاري — ومن ثم ارتفاع درجة الغليان — وذلك لأن الغليان يحدث عندما يتساوى الضغط البخاري للمذيب مع الضغط المحيط وعندئذ تستطيع فقاعات البخار في التصاعد. ويمكن لجزيئات المذاب أن تعوق أيضًا قوى الجذب البينجزيئية التي تسهل عملية التجمد، ومن ثم تعمل على انخفاض درجة التجمد. ولكن، مع أن هذه التأثيرات لها تعليلاتها، فإن الدافع الرئيسي وراء الخصائص الترابطية المُدركة هو الأنتروبيا.

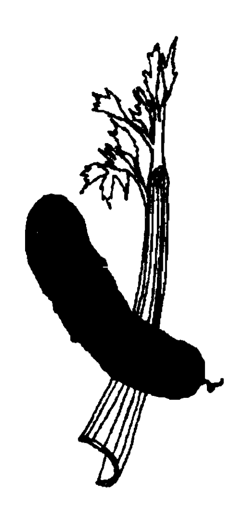
ذكرنا من قبل أن النظام يميل إلى حالة من الفوضى العارمة، أي حالة أنتروبيا قصوى، وأن المحلول المخفف أكثر فوضوية من المحلول المركز. والآن تخيل موقفين متناقضين تمامًا، يوجد في أحدهما ذرتان — واحدة لمذاب والأخرى

لمذيب — وفي الموقف الثاني يوجد ذرة واحدة من مذاب موضوع في بحر من مذيب. يعتبر الموقف الأول منظمًا للغاية إذ يسهل تحديد موضع ذرة المذاب، أما في الموقف الثاني فيعتبر غاية في الفوضى إذ يستحيل تحديد موضع ذرة المذاب الموضوعة في بحر من المذيب، ومن ثم فكلما زادت خفة المحلول زادت فوضويته.

ويميل النظام بطبيعته إلى حالة من الأنتروبيا القصوى، كما شددنا على ذلك في مناقشتنا للديناميكا الحرارية. وتميل النظم الكيميائية والفيزيائية على حد سواء نحو الفوضى، فهذه هي حالتها الطبيعية، فالغازات تتمدد، والأصباغ تنتشر، والمخاليط تبذل ما في وسعها كي تصبح مُخففة، والمحاليل لا تريد أن تفقد المذيبات كي تصبح مركزة، إذ إن الأنتروبيا تزيد بالتخفيف. ويُقلل الضغط البخاري للمحلول، كي لا يفقد المحلول المذيب ويصبح أكثر تركيزًا. وتُرفع درجة الغليان للسبب عينه. وتزيد الأنتروبيا أيضًا في الحالة السائلة عن الحالة الصلبة، ومن ثم يمنع التجمد حدوث الأنتروبيا. وعليه، تختبر المحاليل انخفاض درجات التجمد. ويكون الدافع في الأزموسية هو السعي نحو محلول منظم مخفف كوسيلة لزيادة الأنتروبيا.

وبالمرور عبر المخللات إلى الكرفس إلى الخلايا، إذا كان هناك قوى حيوية وراءها، فستكون الأنتروبيا.

على سبيل المثال: الكلى والكيمياء



ما الذي ينبغي أن تفعله الكلى حيال المخللات والكرفس؟ في الواقع، هي تقوم بدور لا بأس به حيالهما. تبرز الخصائص الترابطية في كيمياء الجسم بدرجة كبيرة لأن الجسم محلول ملحي واحد كبير موزع في خلايا عن طريق الأغشية شبه المنفذة. غير أن الأغشية شبه المنفذة للخلايا لديها دور تؤديه يفوق في أهميته مجرد السماح للماء بالنفاذ إلى الخلايا الذابلة في نبات الكرفس أو النفاذ من المخللات. يغمر الدم الخلايا في محلول مركب من ذرات متنوعة إلى جانب الماء، علاوة على أن الخلايا نفسها تحوي سائلًا مكونًا من جسيمات متنوعة إلى جانب الماء أيضًا. بعض هذه الجسيمات كبير نسبيًّا والبعض الآخر صغير

نسبيًّا. ويكون البعض منها أيونات والبعض الآخر متعادل، وبعضها قطبي والآخر غير قطبي، وجسيمات يُفترض وجودها، وأخرى لا يُفترض وجودها. ولكي يُضبط تركيب محتويات الخلية، يجب أن توجد احتياجات الخلية في الدم وينعدم فيه أي شيء تعتبره الخلية فضلات. والجانب الشائك هنا هو تقرير أي هذه الأشياء فضلات وأيها ليس كذلك، بمعنى تقرير أيهما سيبقى وأيهما سيُخرج خارجًا.

فعلى سبيل المثال، اليوريا، الذي هو نتاج هضم البروتين والذي اشتقت منه كلمة يورين، يجب أن يجري التخلص منه. وكذلك الفضلات الأخرى الناتجة عن عمليات الأيض، أو أي سموم تنتجها البكتريا، أو أي بقايا أدوية أو مواد غير مستخدمة أو هرمونات زائدة. ومن ناحية أخرى، لا ينبغي التخلص من الجلوكوز أو إفراز البروتينات، وينبغي الاحتفاظ بالفيتامينات والكالسيوم ونسبة معينة من الصوديوم والمعادن الأخرى. غير أنه ينبغي ضبط كمية الماء؛ لأن ارتفاع الماء في الدم مضر لأن الدم إذا أصبح مخففًا للغاية حينئذ لن يوجد قدر كاف من المواد الغذائية كي تُنقل إلى الخلية. وإذا كان الدم يحوي كمية قليلة من الماء، فإن العملية الفيزيائية المتعلقة بضخ الدم في كل أنحاء الجسم سوف تضعف، ووظيفة الكليتين هي فرز المواد المتنوعة التي تطفو بالقرب منها ثم تختار ما تحتفظ به وما تطرده.

ويعتبر الترشيح الجيد والمعروف منذ القدم هو أحد الآليات المباشرة التي تستخدمها الكلى؛ إذ تُخفض نسبة الماء والجزيئات الصغيرة باستخدام الضغط، كما في ماكينة صنع القهوة. فالمحلول الذي يمر عبر المرشحات يُطلق عليه «المادة المُرشحَة» (والتي تقابلها القهوة في ماكينة صنع القهوة). وتكون خلايا الدم الحمراء كبيرة في الحجم على أن تُرشح عند هذه الدرجة وينبغي أن تبقى بعيدة عن عملية الترشيح. ويشير وجود أي خلايا دم حمراء في البول إلى إمكانية حدوث ارتشاح في الشعيرات الدموية وينبغي استشارة الطبيب في هذه الحالة.

غير أن المرشح لا يمكنه أن يفرق جيدًا بين الأشياء التي يجب التخلص منها والأشياء التي لا يجب، فبعض المواد التي يجب أن تُحتجز تكون دقيقة للغاية حتى إنها تستطيع المرور. وتعوض الكلى عن ذلك باحتوائها على بروتينات خاصة تُدعى «الناقلات» توجد على أغشية الكلى، التي يمكنها أن

تميز الجزيئات وتعيد امتصاصها مثل بعض أنواع السكر والبروتين. وبالطبع يكون للجسم ناقلات خاصة لهذه المواد فحسب والتي يصنعها بنفسه أو يأخذها بانتظام من البيئة الداخلية. ويصنف الجسم الأدوية التي يصنعها الإنسان على أنها فضلات، وعليه يجري التخلص منها. من ثم يجب أن يُضبط وقت جرعات الدواء وكمياتها بما يحفظ كميات مناسبة منه في الدم.

ولا يجب ترك الدم ليصبح غاية في الحامضية أو غاية في القاعدية — أي لا يجب ترك درجة (pH) لكي تصبح مرتفعة جدًّا أو منخفضة جدًّا — من ثم يجب أن تُضبط بعناية نسبة أيونات الكربونات والبيكربونات. فإذا كان هناك مزيد من نسبة الكربونات، فإنها سوف تُقشد وتُطرد، أما إذا كان هناك القليل، فثمة آلية لاستعادة هذا الاتزان أيضًا.

ينتج عن أيض خلايا الكلى، شأنها في ذلك شأن كافة الخلايا الأخرى، ثاني أكسيد الكربون. وكما ذكرنا من قبل، يتفاعل ثاني أكسيد الكربون مع الماء ليكون حامض الكربونيك، الذي يصبح البعض منه كربونات في الدم. وينتقل ثاني أكسيد الكربون تحت ظروف أخرى إلى الرئتين ويُطرد، أما إذا كان الدم في حاجة إليه لاستعادة اتزان درجة (pH)، فإنه يمكن احتجازه.

وعليه، تتولد عن كل هذه الآليات المعقدة والمتخصصة لتوزيع المواد بين الدم ومنبع الفضلات حاجة ملحة وشديدة إلى الأزموسية. لكن إذا تُرك العنان للأزموسية لكي تحدث دون ضبطها فإن خلايانا قد تتورم أو تتلف مثل الكرفس والمخللات غير المنضبطة. لكن من حسن الحظ، ثمة هرمونات ينتجها الجسم تؤثر على نفاذية الأغشية التي تحدث الأزموسية من خلالها، وأحد هذه الهرمونات هو هرمون ADH المضاد لإدرار البول.

وهرمون ADH تفرزه الغدة النخامية الموجودة في الجزء السفلي من المخ. والغدة النخامية مسئولة أيضًا عن إفراز هورمونات أخرى تقوم بتنظيم النمو والأيض. وعندما تكتشف الغدة النخامية وجود نسب عالية من الصوديوم في الدم، فإنها تفرز هرمون ADH ومن ثم تمنع الكلى الماء من الخروج، ويصبح الدم أكثر تخفيفًا، وستفقد الخلايا نسبة أقل من الماء — ومما لا يشك فيه أن هذه الآلية تعمل جيدًا عندما نركض عبر إقليم السافانا ونأكل واجبات الحمية التي تغيرنا بالتدريج. وللأسف، لم نعد نمارس رياضة الركض كثيرًا كما اعتدنا أن نفعل من قبل، ونحن نميل إلى أن نتناول كميات كبيرة من

الصوديوم في واجباتنا أكثر كثيرًا مما كان هذا متاحًا لنا في إقليم السافانا. ومن ثم يمكن أن يكون معدل احتجاز الماء في الجسم مرتفعًا بدرجة غير طبيعية، مما يمكنه أن يؤدي إلى حدوث خلل في العديد من أنظمة الجسم. وبالطبع، يمكن أن تفسد العديد من أنظمة الحمية، إما بسبب أكل واجبات الحمية اللذيذة المذاق التي تحتوي على نسبة كبيرة من الصوديوم، أو بسبب الامتناع عن شرب الماء اعتقادًا أن الماء الزائد سوف يُختزن في الجسم. في حقيقة الأمر الماء الزائد يخفف الدم ومن ثم يقنع الجسم أن كل شيء على ما يرام ويمكنه أن يصرف الماء بدلًا من أن يحتجزه. ناهيك من أن الجفاف يسبب الإعياء (فعندما يشعر الجسم بنقص الماء، يحاول أن يحتفظ بما لديه)، الذي يقلل من أداء الفرد. لذا، في حين قد يبدو أن الإفراط في شرب الماء في الحمية الغذائية مناقض للبديهة، فهو في الحقيقة يساعد على زيادة معدل الأيض.

وليست معدلات الأيض وحدها هي التي يمكن التحكم فيها، فالتفاعلات الكيميائية كافة — بداية من أكثر التفاعلات تفاعلًا؛ الانفجارات العظيمة ووصولًا إلى أبطئها — تقوم على مجموعة من القواعد والمبادئ، وهو ما سننتقل إليه الآن.



تجربة ١٧: لمزيد من الإثارة

«شاهدت رجلًا يزن مئتي رطل يجلس على مكتبه وهو يتسلم إحدى البرقيات ... أعطى الرجل الصبي خمسة سنتات، ثم فتح الظرف وقرأ البرقية. صاح الرجل بعدها قائلًا: «يا إلهي!» قفز ليلتقط قبعته ومعطفه وركض نحو المصعد، ثم استقل سيارة أجرة إلى محطة القطار ... لقد كان أشبه بمجموعة من البلورات المرصوصة في أنبوبة الكيميائي ومقدار قليل جدًّا من الملح ... أنا أعرف صانع أحذية يعمل في بدروم، وكان هذا الرجل يركب نصف نعل في الحذاء، وعندما سألته عن ذلك أجابني قائلًا: «أنا أدفع فواتيري، وأحب زوجتي، ولا أخشى أحدًا.»

كارل ساندبرج «الدخان والفولاذ» ١٩٢٢

«وثب سيم على قدميه، وارتد قليلًا للوراء مثلما يرتد مُحاضِر الكيمياء لدى إجرائه انفجارًا ناجحًا.»

ج. ك. تشسترتون في «الرجل الذي كان الخميس» ١٩٠٨

يؤثر عاملان رئيسيان على معدل التفاعل الكيميائي — علم حركة أو كينيتيكية kinetics التفاعلات الكيميائية — وهما التركيز ودرجة الحرارة. ويمكن توضيح كليهما بسهولة ويسر باستخدام مواد من «قائمة المشتريات والمحاليل».

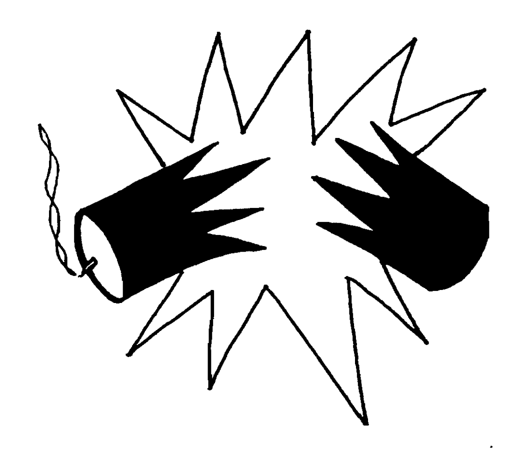
لإجراء التجربة الأولى، ارتد نظارة الأمان الواقية وصب مباشرة نصف كوب (١٢٠ مليلتر) من مادة التبييض المنزلية في كوبين صغيرين شفافين. وكن حذرًا من أن تنشر رذاذ المادة المبيضة، صبه بنفس الطريقة التي تصبه بها عند الغسيل، وقد تحتاج إلى ارتداء قفاز لحماية يديك. ضع كلا الكوبين على فرخ ورق أبيض حتى يمكنك أن تلاحظ اللون بسهولة. تأكد من وجود ساعة إيقاف أو ساعة حائط في مكان ذي رؤية مناسبة.

أضف نقطتين من دليل الميثيل الأحمر (الموجود في عبوة اختبار قاعدية مياه حمام السباحة) للكوب الأول. بعدما أضفت نقطتين إلى الكوب الأول، أضف بعدها مباشرة إلى الكوب الثاني أربع نقاط. قلب كلا الكوبين برفق للتأكد من حدوث عملية امتزاج. ضع كلا الكوبين على فرخ الورق الأبيض، ثم دون على الورقة الوقت الذي أُضيفت عنده النقاط في كلا الكوبين. نجد أن اللون الأحمر الموجود في كلا الكوبين يتلاشى تدريجيًّا في وقت من خمس إلى عشر دقائق، إذ تهاجم المادة المبيضة جزيئات الصبغة التي تلون المحاليل. عندما يختفي اللون الأحمر من الكوب الذي يحوي النقطتين، دون الوقت المستغرق على الورقة ثم عاود ملاحظة الكوب الذي يحوي الأربع نقاط، ثم دون أيضًا وقت انتهاء التفاعل. يمكنك أن تفرغ كل المحتويات في المرحاض، وتجنب نشر رذاذ المادة المبيضة.

يمكنك أن تشاهد اللون وهو يزول لأن التفاعلات الكيميائية تستغرق وقتًا لحدوثها؛ فبعض التفاعلات سريع جدًّا والبعض الآخر بطيء جدًّا، لكن جميعها يستغرق وقتًا. وتفاعل المادة المبيضة له سرعة معينة حتى إنه يمكننا أن نلاحظ عملية التفاعل دون أن ننتظر لسنوات طوال. وحتما لاحظت أن الكوب الذي يحوي أربع نقاط من الصبغة يستغرق وقتًا أطول حتى يتمم التفاعل أكثر من الكوب الذي يحوي نقطتين. غير أنه لا يُشترط أن الكوب الذي يحوي أربع نقاط يستغرق ضعف الوقت الذي يستغرقه الكوب الذي يحوي النقطتين، مع أن المادة المبيضة تهاجم في هذه الحالة كمية مضاعفة من الصبغة. ويتأثر معدل التفاعل بتغير التركيز، لكن لا يحدث عادة هذا التأثير بطريقة مباشرة.

ويمكن توضيح تأثير درجة الحرارة على معدل التفاعل الكيميائي باستخدام قرصي فوار مضاد للحموضة، وكوبين وصنبور مياه. ضع في أحد الكوبين نصف كوب (١٢٠ مليلترًا) ماء فاترًا من صنبور الماء البارد. وضع في الكوب الآخر نفس الكمية من الماء الساخن من صنبور الماء الساخن. ضع قرص فوار في كل كوب في الوقت نفسه. نجد أن فعل الفوران يكون أكثر حركة في الكوب الذي يحوي الماء الساخن من الكوب الذي يحوي الماء الفاتر. تعمل درجة الحرارة الأعلى في هذه الحالة بطريقتين، فهي تدفع المزيد من الفقاعات خارج المحلول (وهذا هو السبب نفسه الذي يجعلك حذرًا وأنت تفتح علبة مياه غازية دافئة)، كما تُزيد معدل التفاعل لأن الجزيئات ذات درجة الحرارة المرتفعة تتحرك بدرجة أسرع، وأحيانًا يجد بعضها بعضًا، وعندما يجد بعضها بعضًا تتصادم بطريقة عنيفة. وهذا التأثير وغيره من المبادئ فيما يرتبط بالحركية الكيميائية، هي موضوع مناقشتنا التالية.





الفصل السابع عشر

الحركية الكيميائية: انفجار حقيقي

«حسنًا. أنت إنسانة بريئة مباركة! ... الحياة لن تظل هادئة مع فتاة في التاسعة عشرة من عمرها تعيش في مثل هذا المكان. قد تخدعين نفسك، لكنك لا تستطيعين أن تخدعيني. ألا تتفاعل فتاة في التاسعة عشرة من عمرها مع الأشياء! إنها قد تنفجر! الأشياء لا تتفاعل في أي مكان باستثناء بوسطن وفي المعامل الكيميائية. أعتقد أنك تعلمين أنك تصطحبين معك قنبلة إنسانية إلى مستودع أسلحة؟»

كريستوفر مورلي «المكتبة المسكونة» ١٩٤٠

تتعامل الديناميكا الحرارية كما ذكرنا من قبل مع تأثيرات الحرارة والأنتروبيا على الاتزان، وهي تفيد في التنبؤ بالمدى الذي سيحدث عنده التفاعل، لكن الديناميكا الحرارية تشبه طفلًا مشاغبًا يتجنب القيام بمهامه اليومية، فهي قد تخبرك أن التفاعل سيحدث لكن لن تخبرك متى، فعلى سبيل المثال، تتنبأ الديناميكا الحرارية بأن الجرافيت هو أحد أشكال الكربون النقي الأكثر ثباتًا من الماس، وعليه سيتحول كل الماس في آخر الأمر إلى جرافيت، لكني أود أن

أنصحك قبل أن تشرع في تعديل حافظتك الاستثمارية بأن هذا التحول قد يستغرق مليارات السنين.

ولا ينبغي أن تُلام الديناميكا الحرارية، فثمة ممارسات عديدة تكون أكثر سهولة في التنبؤ بحدوث الحدث من معرفة زمن حدوثه. فعلى سبيل المثال، يمكننا توقع أننا حتما سنموت، لكن لك أن تتخيل كيف كنا سنتصرف إذا عرفنا متى! لكن بصرف النظر عن القابلية للتنبؤ، من الضروري جدًّا معرفة معدلات التفاعل عند التحكم بالتفاعلات الكيميائية. قد لا نتعرض في حوارنا اليومي للتحدث عن تحول الماس تدريجيًّا إلى تراب الكربون، غير أن الانفجارات هي التي تتصدر الأخبار الليلية. والغرض من دراسة معدلات التفاعلات — الحركية الكيميائية — هو قياس ودراسة معدلات التفاعلات الكيميائية بالعين التي تمكننا من التنبؤ بمدى السرعة أو البطء اللذين يحدث بهما التفاعل الكيميائي المطروح وكيفية تعجيله أو إبطاؤه حسبما تتطلب الحاجة.

ويتضمن المصطلح الإنجليزي kinetics معنى حركة — كما في الفن الحركي kinetic art، أو في علم الحركة الذي يهتم بدراسة عضلات الإنسان وحركته kinesiology. وقد اختيرت الكلمة الإنجليزية kinetics لتصف الدراسة التي تهتم بمعدلات التفاعل الكيميائي لأن معدلات التفاعل تعتمد على حركة الجزيئات. ويقيس العلماء في أوروبا معدلات التفاعل منذ منتصف القرن التاسع عشر على الأقل، لكن التفسيرات التي توصلوا إليها بشأن المعدلات التي لاحظوها كان عليها أن تنتظر حتى تُصدق عليها نظرية الحركة الجزيئية. تذكر نظرية علم الحركة بشأن الحركة الجزيئية أن الجزيئات والذرات تكون في حالة حركة دائمة، وإن كانت هذه الحركة دقيقة مثل اهتزاز الأيونات في سبيكة بلورية أو شديدة الاهتياج مثل الجزيئات في الحالة الغازية التي تنتشر بسرعة ١٦٤٠ قدم (٥٠٠ متر) في الثانية الواحدة.

ولكن المسافة التي يقطعها جزيء غاز واحد في الثانية الواحدة، تحت الضغط الجوي العادي، لا تكون في خط مستقيم، وذلك لأن كثافة جزيئات الغلاف الجوي تحت الظروف العادية في الأرض تكون هي تلك الكثافة التي يمر عندها الجزيء الواحد في الحالة الغازية بما يقرب من سبعة مليارات تصادم كل ثانية. وتعد كل هذه التصادمات بمنزلة أخبار سارة للكيميائي

الذي يدرس معدل التفاعلات الكيميائية لأن معدل التصادم يرتبط بمعدل التفاعل، الذي يرجع إلى أن الجزيئات يجب أولًا أن تجتمع مع بعضها قبل حدوث أي شيء آخر في التفاعل، بمعنى أنها يجب أن تتصادم.

ويُطلق على الفكرة القائلة إن معدل التفاعل الكيميائي يرتبط بمعدل التصادم «نظرية التصادم لمعدلات التفاعل» غير أن الغموض الذي يكتنف الطبيعة لا يمكن حله بهذه السهولة. ففي أثناء التفاعلات الكيميائية، تتشابك مدارات الإلكترونات (أي السحب الإلكترونية) في المتفاعلات الفردية وتندمج بعضها مع بعض بالطريقة التي تندمج بها فقاعتان معًا وتصبحا فقاعة واحدة. وما إن تصبح الظروف مواتية حتى تستغرق الإلكترونات في المدارات الفردية ما يقرب من كوادريليون من الثانية كي تعيد ترتيب نفسها في المدارات حول النواتج. لكن إذا حدثت جميع التفاعلات بنفس السرعة التي تحدث بها التصادمات، فإن الطعام كان سيُطهى في أقل من لمح البصر، وكان الدهان سيجف بمجرد وضعه، وكنا سنموت فور ولادتنا لأن تفاعلات الأيض التي تحدث في أجسامنا كانت ستدمرنا. إذن، لماذا لا تحدث كافة التفاعلات في أجزاء من الثواني؟ تكمن الإجابة في هذه الجملة: «عندما تصبح الظروف مواتية».

في البداية، يجب أن نعرف أن المتفاعلات في الحالة الغازية قد تتصادم بعضها مع بعض مليارات المرات في الثانية الواحدة، أما المتفاعلات في حالة المحلول فيمكن أن يعزلها بعضها عن بعض بحر من المذيب، وقلما تتصادم مع بعضها. ويمكنك أن تتأكد من ذلك عن طريق إضافة بعض قطرات صبغة الطعام في الماء والبعض الآخر في الجلسرين، فستجد أن معدل انتشار — أي حركة المذاب في المذيب — يختلف اختلافًا جذريًّا من مذيب لآخر. (شاهد هذا الانتشار من جانب الكوب للحصول على مشاهدة أفضل.) لكنني أود أن أكرر مرة أخرى أن اللزوجة لا تمنع دائمًا حدوث التفاعل الكيميائي، بل إنها تعمل في بعض الأوقات على تعزيز حدوث التفاعل عن طريق عزل المتفاعلات معًا.

لكن، مع أن المتفاعلات تكون قادرة على التصادم معًا فإنه ليست كل التصادمات تُفضي إلى حدوث تفاعل، كما أنه ليست كل مواعدة ينتج عنها زواج. أكرر مرة أخرى، يجب أن تكون الظروف مناسبة؛ لأن المدارات يجب

أن تكون مصفوفة كما ينبغي، والتصادم يلزمه كم كافٍ من الطاقة كي يحدث. عندما يحدث اصطدام بين سيارتين قريبتين إحداهما من الأخرى بسرعة خمسة أميال في الساعة، فإنه قد لا يحدث حتى انبعاج في الرفارف، أما إذا حدث هذا التصادم من الجنب وكانت متوسط سرعة السيارات هو أربعين ميلًا في الساعة، فإن جانب السيارة يتحطم. من ثم، كي يحدث التفاعل، فإن المتفاعلات يجب أن تجتمع معًا، وأن يكون لها اتجاه معين، ويجب أيضًا أن تتمتع بالقدر المناسب من الطاقة.

ولنفترض أننا نعرف عن الجزيئات وحركتها، عندئذ يمكننا أن نفعل أشياء معينة للتحكم في معدلات التفاعل. فعلى سبيل المثال، يمكننا أن نتحكم في التركيز، وهي فكرة مباشرة وبسيطة؛ فكلما زاد الكم، زادت فرصة حدوث التفاعل. لكن كما لاحظنا في توجيهات التجربة الأولى المطروحة سابقًا، لا تعد دائمًا الزيادة في المعدلات هي نتاج مباشر للزيادة في التركيز، فعلى سبيل المثال، إذا لم يكن التفاعل يحدث في خطوة واحدة لكن بواسطة سلسلة من التفاعلات (مثل معظم التفاعلات)، فسيكون عندئذ استجابة معقدة للزيادة في التركيز، وذلك لأن التركيزات العالية لبعض المتفاعلات تعوق حدوث التفاعل لبعض التفاعلات.

وثمة عامل آخر يمكنه أن يؤثر على معدل التفاعل الكيميائي هو الحالة الفيزيائية للمتفاعلات، فمثلًا الطباشير المستخرج من الأرض يذوب في الخل أسرع من الطباشير الصلب المُصنع. ويمكن أيضًا للحالة التي تكون عليها المتفاعلات أن تؤثر على معدلات التفاعل، فالبنزين السائل يحترق أما بخار البنزين فينفجر. ولطالما تتواجد الأسطح الغريبة في التفاعل، حتى لو كان مجرد سطح الوعاء الذي يحوي التفاعل، لذا يجب أن تُؤخذ أيضًا بعين الاعتبار. ففي بعض الأحيان تعمل هذه الأسطح على زيادة معدلات التفاعل عن طريق حمل أحد المتفاعلات على السلوك في الاتجاه المناسب. وفي أحيان أخرى تعوق الأسطح التفاعل عن طريق جعل التفاعل يسير في اتجاه عكسي أو عن طريق تهدئة المتفاعلات عند التصادم.

أما درجة الحرارة فهي تعد دائمًا عاملًا رئيسيًّا نظرًا لأهميتها على عدة مستويات، فالأغلبية العظمى من التفاعلات تزيد سرعتها مع الارتفاع في درجة الحرارة لأن ارتفاع درجة الحرارة يعمل على زيادة السرعة التي تبدأ عندها

الجزيئات في الركض في كل الأنحاء، مما يزيد عدد التصادمات، ومن ثم الطاقة الناجمة عن تلك التصادمات. فعلى سبيل المثال، عند حدوث عدوى أو إصابة لدى إحدى الثدييات، فإنها تستجيب لذلك بعدة طرق التي من بينها رفع درجة حرارة الجسم، ومن ثم تكون استجابة كل من الجهاز المناعي واستجابة الخلايا المختصة بالتصليح أسرع. فعادة يصاحب الارتفاع في درجة الحرارة زيادة في معدل التفاعل، لكن ذلك لا يحدث دائمًا. فإذا نتجت حرارة عن خطوة معينة من خطوات التفاعل، فإن زيادة درجة الحرارة عن طريق إضافة حرارة إلى التفاعل يمكنه أن يغير اتجاه التفاعل إلى الخلف وينتهي الأمر بتقليل سرعة التفاعل، لذلك، قلما كان التنبؤ بمعدلات التفاعل والقدرة على التحكم بها مباشرًا وبسيطًا.

ويجب أن يُؤخذ أيضًا بعين الاعتبار الحالة التي تتوسط الطريق بين المتفاعلات والنواتج، التي يُطلق عليها الحالة الوسيطة أو المتراكب النشط. لو استخدمت سمنًا وبيضًا ودقيقًا وسكرًا ولبنًا (كمتفاعلات)، فقبل أن تصبح هذه الأشياء كعكة (النواتج) يجب أن تمر بالمرحلة الوسيطة وهي الخفقان والضرب.

ويمر كل تفاعل كيميائي بهذه الحالة الوسيطة، لكنها تكون قصيرة الأجل. فالمتفاعلات يجب أن يتحد بعضها مع بعض وتكون المتراكب الذي تُنظم فيه المدارات وتتكون النواتج. والأمر يتطلب دائمًا وجود الطاقة حتى يتكون هذا المتراكب النشط، أي الحالة الوسيطة، مع أن هذه الطاقة قد تكون كبيرة للغاية أو صغيرة للغاية. ويتحدث الكيميائيون عن حاجز يُدعى الحاجز النشط، بمعنى الحد الأدنى من الطاقة المطلوبة لتكوين الحالة الوسيطة، ثم عندئذ يدفعه إلى أسفل في اتجاه النواتج. ويمكن أن يُفهم هذا الحاجز النشط في ضوء أي جهد يبذله الإنسان، فالأمر يتطلب قدرًا من الطاقة في الفترة التي تتوسط بزوغ الفكرة ووصولًا إلى الناتج النهائي، بصرف النظر عن الاستحسان الذي قد يناله المنتج النهائي. أما في حالة التفاعل الكيميائي، فإن الأمر يتطلب الطاقة للتغلب على المعضلة الأولي المتمثلة في التحول من متفاعلات إلى نواتج، حتى إن انطلقت الطاقة من التفاعل برمته.

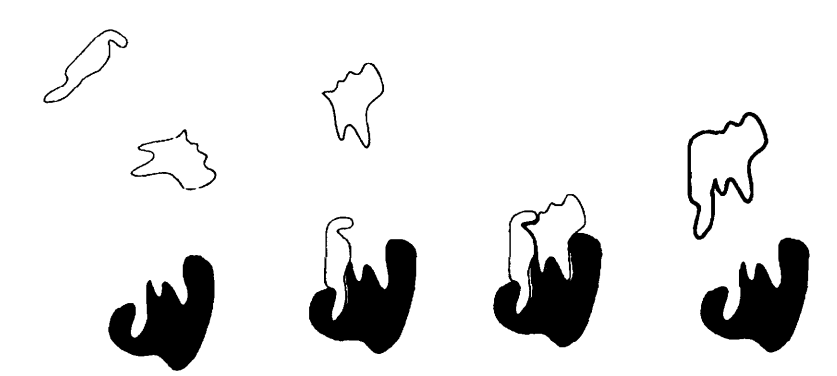
لكن في أوقات أخرى، يمكن مساعدة الموقف (أخيرًا وجدنا أخبارًا سارة)، بمعنى أنه في بعض الأحيان يمكن أن يوجد عامل حفاز يعمل على سرعة

التفاعل المطلوب. والعامل الحفاز هو تلك المادة التي تقلل من طاقة التنشيط المطلوبة لإتمام التفاعل. والعامل الحفاز لا يغير من كم المنتج المكون، فكل دوره يقتصر على جعل التفاعل أسرع. وقد يشبه العامل الحفاز رصيف مشاه متحركًا في مطار، فهو لا يجعل الجهة الأخرى للمطار أقرب، لكنه يقلل كم الطاقة المطلوبة للتنقل من جهة لأخرى، كما أنه يُسرع من معدل الخطوات التي قد تخطوها هناك. وأود أن أوضح التشبيه أكثر، ينقل الرصيف المتحرك المسافرين من جهة لأخرى لكنه لا يغادر المطار نفسه. وبالمثل يدخل العامل الحفاز الحقيقي في التفاعل، لكنه لا يُستهلك في التفاعل.

وتعد الأنزيمات من العوامل الحفازة، فالمكملات الغذائية التي تساعد الجسم على هضم المنتجات المصنوعة من اللبن أو مواد الطعام الخشنة التي لا تُهضم مثل الفول، هي في حقيقة الأمر أنزيمات. وتُضاف الأنزيمات في بعض الأحيان إلى المنظفات لتسرع من تفتيت الدهون. ويعجل العامل الحفاز المحول في السيارة من كسر مركبات النيتروجين والأوكسجين ومركبات الكربون والهيدروجين إلى غاز النيتروجين، وغاز الأوكسجين، والماء، وثاني أكسيد الكربون. وعلى المحولات الحفازة أن تجري هذه التفاعلات بسرعة تامة كي تتواءم مع عادم السيارة العادية.

وتُفهم تمامًا آلية الفعل التحفيزي فيما يتعلق ببعض العوامل الحفازة، فعلى سبيل المثال، قد تُنظم الأنزيمات الحفازة البيولوجية بحيث تعمل قوى الجذب البينجزيئية على تجميع المتفاعلات معًا في الوضع الأمثل لحدوث التفاعل. وتعمل هذه الأنزيمات عمل اليد التي تُثبت الغطاء بطريقة لولبية على الوعاء. لكي تثبت غطاء على وعاء، يمكنك أن تلقي الغطاء والوعاء في حقيبة معًا حتى يجد أحدهما الآخر في النهاية ويصل الغطاء إلى مكانه الصحيح ويتعشق بداخله. لكن إذا كانت هذه هي الطريقة الوحيدة التي يمكن أن يجد بها الغطاء وعاءه، فإن ذلك سيستغرق وقتًا طويلًا حتى يتثبت الغطاء على الوعاء، لكن من الممكن أن توجد يدان تمسكان بالغطاء والوعاء معًا وتثبتهما بسرعة أكبر. ونجد في شكل ١-١٧-١ رسمًا توضيحيًّا لهذه الطريقة التي تعمل بها الأنزيمات.

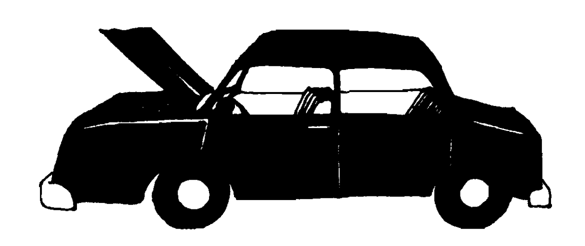
أما الأنواع الأخرى من العوامل الحفازة، فلا تُفهم تمامًا آلية عملها، ولا يزال الأساس الذي يقوم عليه اختيار عامل حفاز لتفاعل معين هو نوع من



شكل ١-١٧-١: بعض تفاعلات الأنزيمات التي تسرع من حدوث التفاعل عن طريق تجميع المتفاعلات معًا في الاتجاه الصحيح. ويُبين التفاعل في أربع خطوات ابتداء من اليسار وحتى اليمين، فنجد في الخطوة الأولى أن مادة التفاعل (البيضاء اللون) تسبح بحرية في المحلول، وعندئذ تلتصق بالأنزيم (الأسود اللون). وعندما تتجمع مادتا المتفاعلات معًا، تتفاعلا معًا ويترك الناتج النهائي الأنزيم، ويصبح الأنزيم حرًّا كي يحفز تفاعلًا آخر.

الفن. فعلى سبيل المثال، يحفز سلك نحاس تحلل فوق أكسيد الهيدروجين بدرجة أفضل كثيرًا من سلك من الصوف الفولاذي. ويمكن توضيح هذا الفرق بطريقة مقنعة كالآتي: ارتد نظارتك الواقية، ثم ضع سلك نحاس في منتصف كوب (١٢٠ مليلتر) من فوق أكسيد الهيدروجين الذي يُباع في الصيدلية. ضع قليلًا من أسلاك الصوف الفولاذي في عينة مماثلة من فوق أكسيد الهيدروجين، نجد أنه يظهر على طول سلك النحاس فقاعات حيث تحلل فوق أكسيد الهيدروجين إلى غاز الأوكسجين والماء.

وبسبب العوامل العديدة التي تؤثر على معدلات التفاعل — مثل تركيز المتفاعلات ودرجة الحرارة والعوامل الحفازة — وحقيقة أن المتفاعلات تجتمع معًا بشكل عشوائي ولا تسير دائمًا في الاتجاه الصحيح أو تتمتع بالقدر المناسب من الطاقة، فإنه لا توجد وصفة مباشرة للتنبؤ بمعدلات التفاعل. ولكن الكيميائيين يحرزون تقدمًا حقيقيًّا، وربما يصبح لدينا يومًا ما قدر كاف من المعرفة حتى نتمكن من ضبط معدلات التفاعل تمامًا، لكننا نتحرك بخطى متثاقلة حتى الآن بسبب قيود السرعة التي ترسلها لنا الطبيعة.



على سبيل المثال: عندما تطقطق سيارتك

عادة ما ترتبط كلمة «انفجار» في أذهاننا بالتدمير، لكنها لا تعني في الواقع سوى «رد الفعل السريع»، فهو يكون في غاية السرعة حتى إن الأشياء المحيطة ليس لديها الوقت حتى تسع أو تمتص التغيير. لقد أضحت الانفجارات في عالمنا المعاصر شيئًا مألوفًا مثل النفس الذي نتنفسه، ومحرك الاحتراق الداخلي يمكنه أن ينتج آلافًا عديدة من الانفجارات في الثانية الواحدة.

ويبدو الأمر غريبًا لنا أن محرك الاحتراق الداخلي لا يزأر حولنا إلا لما يقرب من قرن من الزمان، في حين تقوم البشرية بالانفجارات على مدار عدة آلاف من السنين. وبالطبع يرتبط التعليل بالهندسة التي تعد غاية في الأهمية للتحكم في الانفجارات، بما في ذلك كيفية تشغيل العديد من الانفجارات في ذات الوقت وجعلها جميعًا تعمل معًا، وبكلمات أخرى، يتعلق الأمر بالتوقيت.

يختلط البنزين والهواء في محرك الاحتراق الداخلي في أسطوانة محكمة الغلق تحوي مكبسًا متحركًا. يتحرك المكبس لأعلى ويضغط خليط الهواء والبنزين الذي يحترق عندئذ بشرارة. ويدفع الانفجار الناتج المكبس لأسفل، وتحرك الحركة من أعلى لأسفل رافعة تدور حول عمود الإدارة. ويُضبط توقيت الانفجارات، من ثم عندما يندفع أحد المكابس إلى أسفل، يُستخدم جزء من قوة اندفاعه لأسفل في تحريك مكبس آخر لأعلى، على غرار طريقة عمل الأرجوحة — أو على الأقل هذا ما يحدث عندما تسير الأمور على ما يرام. وأحد الأمور التي قد تفسد في محرك الاحتراق هي تلك الحالة التي يُطلق عليها «خبط المحرك»، وهي عبارة عن انفجار غير مكتمل ينتج عنه «فرقعة المحرك»، أو فقدان مفاجئ في القدرة، ويمكن فهم سبب خبط المحرك في ضوء معدلات التفاعل الكيميائي.

عند النظر إلى صورة مبسطة تعرض محركًا في حالة تشغيل، فقد يظهر مكبس يتحرك لأعلى ضاغطًا على خليط البنزين والهواء حتى يصل إلى قمة الشوط لأعلى، وعندئذ يطلق البوجيه شرارة كهربائية فينفجر البنزين ويتحرك المكبس لأسفل. غير أن هذه الصورة المبسطة تغفل حقيقة أن اشتعال البنزين هو تفاعل كيميائي ويشتمل على انفجارات ولا يحدث تلقائيًّا شأنه في ذلك شأن كافة التفاعلات الكيميائية، والانفجارات تستغرق بعض الوقت كي تنتشر في خليط البنزين والهواء.

ويُعزى السبب في استغراق الانفجار لبعض الوقت إلى أن البوجيه عادة يُصمم كي يُطلق الشرارة قبل أن يصل مباشرة إلى قمة الشوط لأعلى، وبهذه الطريقة يستقبل المكبس الدفع من انفجار الغاز بمجرد أن يكون في وضع استعداد لبدء التحرك لأسفل، كما أنه يستفيد من الأثر الكامل للانفجار. وإذا كان من المفترض أن يبدأ الانفجار مباشرة عندما يصل المكبس إلى قمة الشوط، فإن المكبس عندئذ سيكون بالفعل في حالة حركة في الاتجاه البعيد لأن قوة الغازات المنفجرة بأكملها تتحرك نحوه، وأثر القوة سيكون قد خُفف. وإذا كان من المفترض أن تحدث الشرارة الكهربية بعيدًا جدًّا عن المكبس، فإن الانفجار الكامل كان سيُقابل المكبس في طريقه لأعلى ومن ثم يعمل ضد شوط القدرة للمكابس الأخرى التي توجد أسفل الخط.

ويمكن أن يدمر الإشعال المحظور الفوائد التي تُجنى من كل هذه التوقيتات المعقدة. فإذا حدث شيء ما تسبب في اشتعال خليط البنزين والهواء قبلما يُطلق البوجيه شرارته الكهربية، أو تسبب في احتراق الخليط في أماكن مختلفة في ذات الوقت، فإن النتيجة ستكون مجموعة من الموجات الصدمية (موجات صوتية تنطلق بسرعة فوق صوتية). وهذه الضغوط الشاذة وغير الموضوعة في الحسبان يمكنها أن تتداخل على نحو خطير مع وظيفة المكبس.

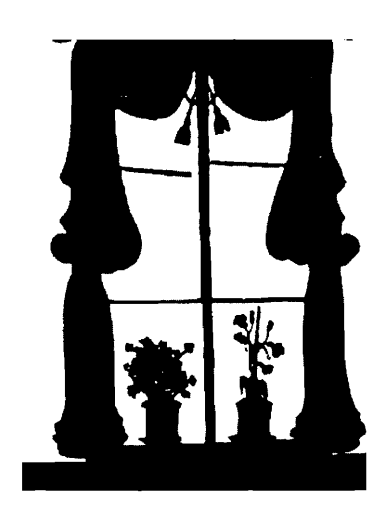
وكما رأينا، تعد درجة الحرارة عاملًا مهمًّا لمعدلات التفاعل. وكما ذكرنا في مناقشتنا للحالة الغازية، يمكن لزيادة الضغط أن تتسبب في ارتفاع درجة الحرارة، حتى إنه يمكن تسخين خليط البنزين والهواء إلى درجة الاشتعال عن طريق الضغط وحده. وفي الواقع يعتمد عمل محركات الديزل على هذه الفكرة، فلا تحوي محركات الديزل بوجيهات إشعال لكنها تعتمد على الضغط لإشعال خليط الوقود والهواء. لكن إذا حدث هذا في محركات أخرى غير محركات

الديزل، فإنه يتسبب في حدوث احتراق لا يمكن التحكم فيه ويتسبب في حدوث الاضطرابات؛ إذ يجب التحكم الجيد في خليط البنزين والهواء في محركات تُدار بعناية لمنع حدوث الخبط.

وثمة عامل مهم آخر هو الوقود؛ فإذا كانت درجة البنزين ذات قدرة أكبر على تحمل درجة الحرارة والضغط داخل الأسطوانة دون حدوث اشتعال تلقائي داخل الاسطوانة، عندئذ سيكون الخبط أقل على الأرجح. وقد أُعد الوقود الذي يحوي درجة «أوكتان» عالية، بحيث يمكنه أن يقاوم الاحتراق حتى يشتعل.

ويشير اسم «أوكتان» إلى مركب يحوي ثماني نوى من الكربون في تركيبه، وتعني درجة الأوكتان الموجودة في البنزين في الأساس، نسبة نوع معين من الأوكتان (فثمة طرق عديدة لترتيب ثمان نوى كربون في سلسلة) إلى نسبة سلسلة معينة ذات سبع نوى كربون. لكن هذا المصطلح قد تغير منذ بدء استخدامه ليصف خصائص احتراق الوقود أكثر مما يصف التركيب الدقيق للوقود. فعلى سبيل المثال عندما وُجد أن بعض مركبات الرصاص بإمكانها أن تحسن طريقة احتراق الغازات، ومن ثم تجنب الخبط، حينئذ قيل أن المواد المُضافة من منتجات الرصاص تعمل على رفع نسبة «الأوكتان» في البنزين.

ولحسن الحظ، يمثل تصميم المحرك عاملًا مهمًّا أيضًا من العوامل التي تعمل على منع الخبط، من ثم عندما تزيد نسبة الرصاص في البيئة بسبب زيادة نسبة الرصاص في الوقود، فإن السيارة يُعاد تصميمها كي تُزود بوقود ذي نسبة أقل من الأوكتان. لكن ليست بالضرورة أن تستخدم جميع السيارات وقودًا عالي الأوكتان كي تكون بمأمن! فبعض السيارات تُدار بطريقة أفضل باستخدام وقود منخفض الأوكتان. ففائدة الوقود عالي الأوكتان تتوقف على تصميم المحرك وعمره وحالته وموقعه وكيفية ضبطه والمناخ. والتجربة هي خير دليل لك، فإذا كانت سيارتك تعمل جيدًا، دعها وشأنها فلا تخبطها.



تجربة ١٨:
كيمياء الضوء الأسود، وكيمياء المشابك

«أولئك الذين يشكلون طبقة النبلاء الطبيعية، لا تجدهم في الواقع نبلاء، أو لا يكادون يكونون نبلاء، مثل الطاقة الكيميائية للطيف لا تكون أقوى إلا بالقرب منه.»

رالف والدو إيمرسون في «مقالات» ١٨٣٠

في مناقشتنا عن العوامل التي تؤثر على أداء محرك السيارة، من الأشياء التي لم نذكرها هي شدة ضوء الشمس؛ لأن التفاعلات التي تحدث داخل المحرك لا تتعرض لأشعة الشمس، لكن ضوء الشمس يؤثر على السيارات، فالمواد الكيميائية الموجودة في دهان السيارة والإطارات والتركيبات المصنوعة من اللدائن تفسد من الشمس. في الواقع، الضوء يمكنه أن يكون عاملًا مهمًّا لتفاعلات عديدة، ويمكن أن يكون الضوء أيضًا عاملًا غامضًا، لأنه في أوقات كثيرة لا يتوقف الأمر على الضوء فحسب، بل على نوعه أيضًا، ولكي نبين تأثير الضوء على التفاعلات الكيميائية، راجع التجربة التي طرحناها في الفصل الأخير التي قمنا فيها بقياس معدل التبييض باستخدام محلول دليل.

ارتد نظارتك الواقية، ثم ضع المادة المبيضة في الأكواب تمامًا مثلما فعلنا من قبل، لكن في هذه المرة عرِّض أحد المحاليل للضوء الأسود المقترح شراؤه ضمن قائمة المشتريات والمحاليل. يجب أن يُقرب الضوء الأسود لمسافة بوصة من سطح المحلول لضمان أكبر تأثير. فالضوء يجب أن يُسلط فوق السطح مباشرة وليس عن طريق جانب الوعاء الزجاجي أو البلاستيكي. ويجب أن يدوم التعرض لما يقرب من خمس عشرة دقيقة. وراع ألا يتعرض المحلول الآخر للضوء. الآن أضف قطرات متساوية من الدليل إلى كلا الكوبين اللذين يحويان مادة التبييض، ثم احسب الوقت الذي يستغرقه اللون حتى يتلاشى منهما. عندئذ ينبغي أن يحدث التفاعل في المحلول الذي تعرض للضوء الأسود أسرع جدًّا من تفاعل المحلول الذي لم يتعرض، ذلك لأن مادة التبييض تفككت ضوء كيميائيًا بمعنى أن الضوء الأسود تسبب في تفتيت مادة التبييض كيميائيًّا إلى أنواع أكثر قدرة على التفاعل.

والآن وأنت لا تزال مرتديًا نظارة الأمان، صب نحو نصف بوصة (١ سم) من محلول كبريتات النحاس (المعدة كما هو مشار في قائمة المشتريات والمحاليل) إلى كوب من الزجاج أو البلاستيك على أن تتخلص من الكوب بعدها. أفرد كليبس ورق واغمس أحد طرفيه في المحلول، ثم ضع طرف مسمار مطليًّا بالخارصين في المحلول على ألا يلمس المشبك، ضع أيضًا طرف سلك ألمنيوم طويلًا في المحلول بحيث لا يلمس المعادن الأخرى. انتظر ساعة ثم أخرج المعادن من المحلول وافحصها جيدًا. ينبغي أن يتغطى المشبك بطبقة رقيقة من النحاس، والمسمار المطلي بالخارصين يصبح لونه أغمق في الطرف الذي لمس المحلول، أما سلك الألمنيوم فينبغي أن يظل كما هو بلا تغيير. في حالة المشبك المعدني والمسمار المطلي بالخارصين، فإن الإلكترونات الموجودة على سطح المعدن تنتقل إلى أيونات النحاس في المحلول. تكوَّن النحاس الفلزي عندما قبلت الأيونات الإلكترونات. وترسب النحاس على الكلبس المعدني وعلى سطح المسمار لأن الحديد الموجود في المشبك والمسمار تأين وانحل. غير أن الإلكترونات مرت بوقت أصعب بتركها الألمنيوم. ويطلق على تبادل الإلكترونات عبر المحاليل أو عبر المعادن مصطلح «الكيمياء الكهربائية». ولسوف نفحص المزيد من هذه التفاعلات — وأسبابها وعواقبها — في الفصل التالي.



الفصل الثامن عشر

الإلكترونات والفوتونات: أثر الضوء

> «ولم يصعق البرق الذي سبقها أحد غيري، لكنني لن أبدل مصباحي ما حييت. عندما يصبح هناك عجز في الأوكسجين، قد يسدده الكيميائي، ولكن ليس العجز في الكهرباء.»
>
> إميلي ديكنسون «قصائد، السلسلة الثالثة» ١٨٥٠

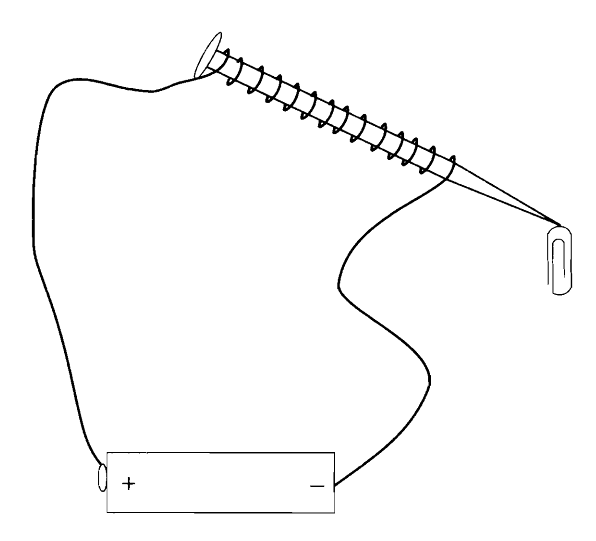
ما الشيء المشترك بين الألعاب النارية وتغير لون أوراق الشجر في فصل الخريف؟ الشيء المشترك هو الكيمياء الضوئية، وهي الكيمياء التي يكون فيها الضوء أحد مواد المتفاعلات أو النواتج. ففي الألعاب النارية يكون الضوء هو أحد النواتج وهو أمر جلي للعيان بالطبع، وفي تغير لون أوراق الشجر في فصل الخريف يكون الضوء هو أحد مواد التفاعل، فعند وضع كيس ورقي فوق كتلة من أوراق الشجر المتساقط، فإن هذا سوف يمنع تغير لونها، من ثم يعتبر الضوء أحد مواد التفاعل في أشهر تفاعلات التساقط.

ما الشيء المشترك بين البطاريات والمصدات؟ الشيء المشترك هو الكيمياء الكهربائية، وهي الكيمياء التي تكون الكهرباء هي أحد المتفاعلات أو النواتج.

فالبطاريات تنتج الكهرباء عبر التفاعلات الكيميائية وتخلق قدرًا من الإلكترونات كافيًا لإنارة المصباح الكهربي. وعند الطلاء بالكهرباء يُستخدم نبع من الإلكترونات لاختزال المعادن، مثل الكروم، على السطح، كما في المصدات في السيارات المعروفة بكراون فيكتوريا، موديل عام ١٩٥٦. ما الشيء المشترك بين الكيمياء الضوئية والكيمياء الكهربائية؟ كلاهما يمثل بعضًا من أنواع التفاعلات الكيميائية التي تتضمن جسيمات صغيرة ولكنها ليست ذرات، ولكنها تتسبب في فعل الكيمياء. وفي الكيمياء الكهربية تكون هذه الجسيمات الدقيقة هي الإلكترونات التي نألفها الآن. أما في الكيمياء الضوئية فتكون الجسيمات الصغيرة فوتونات وهي قد تحتاج بعض الشرح.

ونبدأ الآن بشرح طبيعة الضوء، يمكن وصف الضوء على أنه «مجال كهرومغناطيسي متذبذب»، وهو مصطلح يحتاج شرحًا في حد ذاته. وتُعرف كلمة «مجال» في العلوم الفيزيائية على أنها الأثر الذي ينتشر عبر منطقة من الفراغ، فعلى سبيل المثال، إذا كانت هناك نار مشتعلة في منتصف فناء، فإنها تخلق مجالًا من السخونة، وتكون درجة الحرارة أعلى في المكان المشتعلة فيه النيران، ثم تمتد الحرارة في المنطقة المحيطة وتقل بالتدريج إلى أن تتلاشى مع بعد المسافة عن النيران. والمجال المتذبذب هو ذلك المجال الذي يتغير بانتظام مع الوقت. وعندما تُسلط مروحة على كتلة جليدية فإنها تكون مثل المجال الحراري المتذبذب السابق، والمجال الكهرومغناطيسي المتذبذب هو مجال كهربائي متذبذب مصحوبًا بمجال مغناطيسي متذبذب.

ويمكنك أن تبين العلاقة بين الكهرباء والمغناطيسية باستخدام مسمار وقطعة من السلك، وبطارية قاعدية الخلية جهدها ١٫٥ فولت، وحامل بطارية (يمكنك استخدام حامل بطارية أو لا). يُلف السلك حول المسمار في سلسلة من اللفات الضيقة، وعندئذ تُوصل الأطراف أو تُمسك بأطراف البطارية. وعليه، يصبح المسمار مغناطيسًا كهربائيًّا ويستطيع أن يلتقط مشبكًا معدنيًّا. ويمكن أن يُشغل المغناطيس ويُطفأ عن طريق توصيل وفصل البطارية. وقد يسخن السلك، لذا لا تتركه موصلًا لفترة طويلة أكثر من الحاجة. ولا تخزن على الإطلاق بطارية موصلة بسلوك، لأنهما قد يتصلا ببعضهما ويسخنا لدرجة يمكنها أن تشعل مادة قابلة للاشتعال.



شكل ١-١٨-١: مغناطيسًا كهربائيًّا يمكن عمله في البيت ويمكنه أن يجذب مشبكًا معدنيًّا.

والسؤال الذي نود أن نطرحه: لماذا يخلق التيار المتحرك مجالًا مغناطيسيًّا؟ لكي نكون أمناء تمامًا في الرد على هذا السؤال، أود أن أذكر أنه ما من أحد قط أجاب على هذا السؤال تمامًا بعد، لذا لن نحاول نحن ذلك، لكن يكفي أن نذكر أن التأثير قوي للغاية ويقدم كيمياء شيقة أيضًا.

لماذا يرتبط المجال الكهرومغناطيسي المتذبذب بالكيمياء؟ كما يمكن أن نتذكر من مناقشتنا للتركيب الذري أن الذرة نفسها تتمتع بمجال إلكتروني، كما أوضحنا بتجربة «الساحرة والماء». وتكون شحنة الإلكترون سالبة وشحنة البروتون موجبة، وكلاهما منفصلان أحدهما عن الآخر، من ثم يوجد بين الإلكترونات والبروتونات مجال، وهو مجال الجذب. وقد يمتص الجزيء الطاقة من المجال الكهرومغناطيسي المتذبذب للضوء لأن الإلكترونات تُدفع وتُجذب من أماكنها الطبيعية، كما لو كانت طفلًا يتأرجح على أرجوحة إذ يمتص الطاقة من والديه اللذين يدفعانه من موضع الاتزان على الأرجوحة. تتلخص كل الكيمياء في إعادة تنظيم الإلكترونات، من ثم قد تجد الإلكترونات المدفوعة في كل مكان نفسها في موضع جديد، مما قد ينتج عنه مواد جديدة.

لكن لماذا قلنا إن الضوء قد يتفاعل مع الذرات؟ إذا كان الضوء هو مجال كهرومغناطيسي متذبذب والذرات تحوي مجالًا كهربائيًّا، ألا ينبغي إذن أن

يتفاعل الضوء دائمًا مع الذرات؟ قد نجد الإجابة في سؤال آخر قد تكون سألته في غضون التجربة التي أجريناها في هذا الفصل، وهو: أيجب عليّ أن أشتري مصباح ضوء أسود؟ فهو مكلف للغاية! ألا يمكن أن أستخدم المصباح العادي أو حتى أعرض المحلول للشمس؟

والإجابة على ذلك هي أن الضوء الأسود يقدم وفرة من الأشعة فوق البنفسجية، وهي نوع الضوء الذي نحتاجه لإتمام التفاعل. ويفسر عمل الأشعة فوق البنفسجية أيضًا لماذا يجب رصد نسب الكلور في حمامات السباحة، فلا يمكن التسليم بوضع نفس الكمية من الكلور كل يوم لأنه لا يوجد كم ثابت من أشعة الشمس كل يوم. لكن إذا كانت الشمس ترسل أشعة فوق بنفسجية، لماذا لا نكتفي بتعريض التفاعل لأشعة الشمس ونوفر نفقات مصباح الضوء الأسود؟ والإجابة هي أن الأشعة فوق البنفسجية هي ليست الأشعة الوحيدة التي تبثها الشمس، وأن وجود أنواع أخرى من الأشعة قد يؤثر على نتائج التجربة، فالشمس ترسل أيضًا أشعة مرئية والأشعة تحت الحمراء، والأشعة تحت الحمراء يمكنها أن تسخن المحلول. وكما ذكرنا في مناقشتنا حول «الحركية الكيميائية»، تستطيع الحرارة أن تسرع من التفاعل الكيميائي، من ثم إذا عرضنا المحلول للشمس، فإننا لن نكون متيقنين أيهما السبب في تفتيت مادة التبييض؛ الأشعة فوق البنفسجية أم الحرارة. ويكون نوع الضوء المطلوب لإتمام التفاعل محددًا للغاية لأن نوع المجال الكهربائي المحيط بالجزيء محدد للغاية. ويعتمد المجال على طبيعة العناصر التي تكون الجزيء وموقعها في الجزيء.

وتعتمد الطاقة التي تحملها الأشعة على نوع الأشعة، فنوع الأشعة التي تسخن المحلول إذا عرضناه للشمس (الأشعة تحت الحمراء)، هي أشعة منخفضة الطاقة نسبيًّا، والأشعة المرئية التي تستجيب لها أعيننا هي أشعة متوسطة الطاقة، أما الأشعة فوق البنفسجية التي أتمت التفاعل الكيميائي فهي أشعة عالية الطاقة نسبيًّا. والأشعة فوق البنفسجية هي ذلك النوع من الأشعة الذي يمكنه أن يدمر البشرة إذا تعرضت للشمس لفترات طويلة. ويمكن أن تكون الأشعة التي نحتاجها لإتمام تفاعل كيميائي محددة للغاية، لدرجة أن الأشعة يمكن النظر إليها على أنها نبع من حزم الطاقة، يُحدث كل جسيم فيها تغيرًا كيميائيًّا واحدًا. ويُطلق على حزم الطاقة تلك فوتونات ويمكن أن نعدها مثلما نعد الإلكترونات والجزيئات والذرات.

كيف يمكن أن يكون الضوء جسيمًا صغيرًا وموجة؟ لقد أربك هذا السؤال أجيالًا من دارسي الكيمياء والفيزياء، لاسيما وأن الإجابة هي أن الضوء ليس هذا ولا ذاك — وهو هذا وذاك في الوقت ذاته، فالضوء يمكن تصوره على هيئة جسيم عندما تكون صورة الجسيم مناسبة، ويمكن تصوره على هيئة موجة عندما تكون صورة الموجة مناسبة، وفي الوقت ذاته لا تعبر أي من الصورتين عن جوهر الضوء بل يمثلان أحد جوانبه.

ويمكن أن نشبه ذلك بالقطط المدللة العادية التي تُربى في المنازل. هل القطط التي تُربى في المنازل هي حيوانات أليفة أم حيوانات متوحشة؟ تتصرف القطط كحيوان أليف عندما تأتي أو تُدعى للطعام أو للهو معها، لكنها تتصرف كحيوان متوحش عندما يعترض طريقها عنكبوت منحوس. إذن هل القط أليف أم متوحش؟ من الممكن أن نطلق عليه في وقت ما إحدى هاتين الصفتين، وفي وقت آخر الصفة الأخرى، فالقط ليس هذا ولا ذاك وفي الوقت نفسه هو كلاهما. وبالمثل، يُوصف الضوء في بعض الأوقات على أنه جسيم وفي أوقات أخرى على أنه موجة.

وقد شاهدنا بالفعل أن الضوء قادر على استثارة التفاعلات الكيميائية، لكن كيف يمكننا أن نوضح أن التفاعلات الكيميائية قادرة على إنتاج الضوء؟ إن أسهل طريقة على الأرجح هي الذهاب إلى إحدى المعارض التجارية أو السيرك أو متجر بيع الأشياء المبتكرة لشراء أنابيب متوهجة. تعمل هذه الأنابيب الطويلة المكسوة بالبلاستيك والطويلة عن طريق ثنيها وبرمها حتى ينكسر الغشاء الذي يفصل ما بين سائلين، ويمتزج هذان السائلان معًا ويتفاعلان، ويحوي هذان السائلان مواد تتفسفر عندما تتفاعل وينتج عن ذلك أضواء متوهجة مبهجة. ويمكننا أن نجد مثالًا آخر على ذلك في الألعاب النارية، إذ يسخن انفجار البارود الأملاح المعدنية الموجودة في الألعاب النارية إلى الدرجة التي تُثار بها الإلكترونات في مداراتها. وفي حين تسترخي الذرات عائدة إلى حالة سكونها الأكثر استقرارًا، تبث الطاقة الزائدة في صورة ضوء.

وتعد الكيمياء الضوئية، الكيمياء التي يحدثها الضوء، هي المسئولة عن تفاعلات عديدة تحدث في الغلاف الجوي وتحدد جودة هوائنا. والضباب الضوئي الكيميائي هو الاسم الذي يُطلق على الضباب الرقيق البني الضارب للحمرة الذي يتكون فوق المدن تحت ظروف مناخية معينة. والنيتروجين

(N_2) والأوكسجين (O_2) مكونات طبيعية للهواء ويمكنهما أن يكونا NO في البرق. ويتفاعل NO مع O_2 ليكونا NO_2، الذي يذوب في ماء المطر ويسقط إلى الأرض. وهنا يمكن الحصول على النيتروجين عن طريق نوع من البكتريا، وعن طريق سلسلة من التفاعلات يمكن تكوين البروتينات لأنماط الحياة المختلفة للنبات والحيوان. وللأسف، ثمة مصدر آخر NO_2، لكنه صناعي إلى حد ما، هو الناتج عن أسطوانات السيارات، ولن يكون NO_2 الناتج سبب مشكلة إذا وُجد بكميات صغيرة، لكنه قد يسبب الأضرار إذا وُجد بكميات كبيرة. ويمكن أن يمتص NO_2 المنطلق في الهواء الأشعة فوق البنفسجية من الشمس ويفتت ويتحول إلى NO، وO مرة أخرى. وتكمن المشكلة في أن O يمكنه أن يتفاعل مع O_2 ويكونا O_3، المعروف بالأوزون. وفي حين يكون الأوزون ذا فائدة في طبقات الغلاف الجوي العليا — إذ يحمي سطح الأرض من القوة الكاملة لأشعة الشمس — فإن وجوده في المستويات الدنيا، في مستوى الشارع، لا يعد أمرًا جيدًا، فالأوزون يتلف المطاط والبلاستيك والنباتات والحيوانات ويتفاعل مع عوادم السيارات ليكون مواد ملوثة ضارة.

وهكذا نجد أن الطاقة المنطلقة من الضوء يمكنها أن تُحدث بعض التفاعلات الكيميائية، لكن السؤال هنا هو: لماذا تطلق بعض التفاعلات ضوءًا؟ الإجابة هي أن التفاعلات الكيميائية تتكون من إلكترونات معادة التنظيم، واستنادًا إلى المواد الكاشفة والنواتج، قد تجد هذه الإلكترونات نفسها في مدارات جزيئات النواتج التي لا تكون في حالة الطاقة الدنيا، وكما هو الحال مع الإلكترونات في الألعاب النارية، ففي طريق عودتها إلى حالة السكون، قد تطلق بعض الضوء.

وثمة طريقة أخرى يمكن عن طريقها إعادة ترتيب الإلكترونات في تفاعل كيميائي، وذلك عن طريق الأسلاك. والكيمياء الكهربائية هي كيمياء أكسدة واختزال وهي تلك التي ينفصل فيها الموضع التي تُجرى فيه تفاعلات الأكسدة عن الموضع الذي تُجرى فيه تفاعلات الاختزال. وتظهر طبيعة الكيمياء الكهربائية في المقام الأول في شكلين مميزين، هما خلايا التحليل الكهربي والخلايا الفولتية (المعروفة بالجلفانية أيضًا). والخلايا الفولتية هي خلايا تنتج الكهرباء، من ثم تُصنف البطاريات باعتبارها خلايا فولتية. والمبادئ التي تقوم عليها فكرة عمل الخلايا الفولتية هي نفس المبادئ التي تقوم عليها

باقي التفاعلات الكيميائية الأخرى، باستثناء أن الإلكترونات تتبادل بعضها مع بعض عبر أسلاك وليس عبر اتصال مباشر. والتفاعلات هي تفاعلات أكسدة واختزال (ولذلك هي تنتج تيارًا من الإلكترونات)، بمعنى أن التفاعلات تخضع لقوانين الديناميكا الحرارية وتميل للاتزان (ولهذا تفقد البطاريات طاقتها)، وأن التفاعلات لها معدلات محددة (ولهذا يجب أن تُدفأ بعض البطاريات حتى تصل إلى درجة حرارة الغرفة قبل أن تنتج الحد الأقصى من الطاقة).

لكن تفاعلات الكيمياء الكهربية يجب أن تخضع لقوانين الكهرباء أيضًا مثلما تخضع لقوانين الكيمياء، لذلك حتى إن اتصلت المحاليل عن طريق سلك، فإن الدائرة الكهربية يجب أن تكون مكتملة، وإلا لن تنتقل الإلكترونات إلا بعيدًا ليس إلا. ويحدث الاتصال عامة عن طريق محلول يحتوي على أيونات يُسمى «الإلكتروليت». لأن الأيونات هي جسيمات صغيرة مشحونة تتحرك في الإلكتروليت وتكون قادرة على توصيل الشحنة الكهربائية من موضع الأكسدة إلى موضع الاختزال، إذ تتحرك الإلكترونات عبر السلك، وفي حال البطاريات التي تشتريها من المتجر، عادة ما يكون الإلكتروليت في شكل عجينة رطبة وليس سائلًا، لكن في بطاريات السيارات التي تنتج تيارات كهربائية عالية، عادة ما يكون الإلكتروليت هو حامض الكبريتيك.

ويكون الليمون حامضيًّا، من ثم يعد عصير الليمون فعليًّا إلكتروليت جيدًا أيضًا. والآن ارتد نظارة الأمان الواقية، واغرز مسمارًا مطليًّا بالخارصين في طرف ليمونة ودبوس في طرفها الآخر في أحد شقوقها الضيقة، ثم قس فرق الجهد الكهربائي بين المسمار والدبوس باستخدام فولتميتر يمكن شراؤه من متجر بيع الخردوات، عن طريق توصيل الطرف السالب بالمسمار المطلي بالخارصين والطرف الموجب بالنحاس. يعتمد فرق الجهد المُقاس الفعلي على الليمون والعوامل الأخرى.

والتفاعل الذي يحدث في بطارية الليمون هو اختزال أيونات النحاس (إذ يذوب القليل من النحاس من دبوس النحاس في عصير الليمون الحامضي) وأكسدة الخارصين إلى أيونات خارصين — وهي الحالة الأكثر ثباتًا وفقًا للديناميكا الحرارية. ولأن التفاعل يتحرك نحو حالة أكثر ثباتًا، من ثم يمكنه أن ينتج الكهرباء تمامًا مثل الخلية الجلفانية. وخلية الإلكتروليت هي نقيض الخلية الجلفانية. ففي الخلية الجلفانية يُستخدم التفاعل الكيميائي لكي ينتج

الكهرباء، أما في خلية الإلكتروليت تُستخدم الكهرباء لتنتج التفاعل الكيميائي، ويمكن عمل خلية إلكتروليتية كالآتي:

ارتد أولًا نظارة الأمان الواقية، ثم التقط مسمارك الحديد المطلي بالنحاس من التجربة السابقة ثم أدخله في كوب يحوي نحو بوصة من المحلول المُخفض لقلوية ماء حوض السمك، المقترح شراؤه في قائمة المشتريات والمحاليل. ثبت المسمار بواسطة سلك في الطرف الموجب من بطارية جافة في حامل بطارية. أضف مسمارًا حديديًّا آخر إلى المحلول ثم وصله بالطرف السالب لنفس البطارية. يترك النحاس المسمار الحديدي الأول بالتدريج ويتحول ليغطي المسمار الثاني. وهذه العملية، التي يُطلق عليها الطلاء الكهربي، تُستخدم لإضافة الطبقات المعدنية لكل شيء، بدءًا من المفروشات إلى المجوهرات. ويمكن أن يكون الغرض من الطلاء الكهربي هو التزيين، لكنه يتمتع بأغراض عملية أكثر، فهو يستخدم بنجاح ليحمي المعادن النشطة مثل الحديد أو سبائك الحديد من تأثيرات الصدأ التي تحدثها الرطوبة. ولماذا تتلف الرطوبة الحديد؟ قد يظن المرء أن الكباري الفولاذية التي يمكنها أن تتحمل أطنان من الشحنات كل يوم ينبغي أن تقاوم قطرات قليلة من الماء ولكن تشكل قطرات المياه على الحديد، خلية كهروكيميائية تمامًا مثل سلك الحديد الذي يوصل ما بين محلولين. في التفاعل المكون للصدأ، يتأكسد الحديد إلى أكسيد حديد الذي هو الصدأ، ويُختزل الأوكسجين الموجود في الهواء إلى ماء. ولكي نثبت أن هذا التفاعل يحدث في موضوعين مختلفين — أحدهما للأكسدة والآخر للاختزال — افرد دبوسًا معدنيًّا، وضع نصفه داخل كوب يحتوي على خل والنصف الآخر خارج الخل لمدة يومين. عندئذ خذ الدبوس خارج المحلول وتفحصه تحت عدسة مكبرة. ينبغي أن ترى الصدأ متجمعًا على موضع واحد بعينه، ثم ستجد تحت بقعة الصدأ تلك منطقة نظيفة، فالصدأ يتجمع فوق المحلول لأن التفاعل يحتاج أوكسجين.

والآن أثبتنا أن ثمة شيئًا مشتركًا بين الألعاب النارية وتغير لون أوراق شجر في فصل الخريف، وأيضًا هناك شيء مشترك بين البطاريات والمصدات، لكن في هذا الفصل، نضع أساسًا مشتركًا لتلك الأشياء الأربعة معًا، إذن ما الشيء المشترك بين الألعاب النارية، وتغير لون أوراق شجر في فصل الخريف، والبطاريات، والمصدات؟ الشيء المشترك بينها هو الطاقة الشمسية.



على سبيل المثال: الفوتون يقابل الإلكترون: الطاقة الشمسية

تستفيد كل من الحرباء وعباد الشمس من الطاقة الشمسية منذ أمد بعيد قبل أن تلقي الحياة المتقدمة بظلالها، ويمكن أن نقول بوجه عام إن كل الحياة مبنية على الطاقة الشمسية. غير أننا قد أضفنا تقنيات ضئيلة عبر السنين، فقد استعنا في بادئ الأمر بفكرة الحرباء وطورنا مجمعات للطاقة الشمسية تمتص الطاقة من الشمس ثم تختزنها. كما طورنا أيضًا الخلايا الفوتوفلطية التي تحول ضوء الشمس إلى تيار كهربائي. وتستخدم الخلايا الفوتوفلطية بنجاح في تشغيل الأجهزة الصغيرة مثل الآلات الحاسبة وحتى في تشغيل المنتجات التي تحتاج لمقدار هائل من الطاقة في المناطق التي تتعرض للشمس بغزارة. ويعمل العلماء أيضًا على استنباط تقنيات إبداعية أخرى للاستفادة من الطاقة الغزيرة المنبثقة من الشمس، وتتمثل إحدى هذه التقنيات في استغلال الطاقة الشمسية في التحويل الإلكتروليتي للملوثات.

ومن أكثر الملوثات صعوبة في السيطرة عليها، الملوثات العضوية التي تُشتق من المخصبات والمبيدات الحشرية. والمركبات العضوية هي أنواع من المواد يتركب منها الزيوت والشمع والبلاستيك، وهي مقاوم جيد للماء والأملاح البسيطة التركيب أو حتى الأحماض والقلويات، غير أن المواد العضوية يمكن أن تتفتت عن طريق وضعها في خلايا إلكتروليتية ثم دفع إلكترونات عبرها أو إزالة إلكترونات منها. لكن الإلكترونات يجب أن تأتي من مصدر ما. فإذا دُفع التيار في نبات يُحرق بالزيت، فعندئذ تنتج عملية تفتيت الملوثات ملوثات أخرى، ومن ثم نعود إلى نقطة البداية. لكن لحسن الحظ، توجد بعض المواد مثل جزيئات أكسيد التيتانيوم.

ويستخدم أكسيد التيتانيوم في مواد الدهان بسبب نقاء لونه الأبيض، وعندما تظهر الشمس، يمكن أن تمتص جزيئات أكسيد التيتانيوم إشعاعات الشمس وتستخدم هذه الطاقة في تنشيط إلكتروناته بجعلها في حالة نشطة وذات قدرة أكثر على التفاعل، عندئذ تعمل هذه الإلكترونات مثل مصادر الإلكترونات القليلة في البطاريات المصغرة لتفتيت الملوثات العضوية جزيئًا جزيئًا. لذا كما هو الحال في أساطير إيسوب — التي تدور حول الصراع ما بين الشمس والرياح عن أيهما الأقوى — نجد أن الذي يقاوم القوى يمكن التغلب عليه بالإقناع اللطيف، ومن ثم يرحب الدفء بضوء الشمس.

الباب الثاني





مقدمة

اللعب بالنغمات

> «قال م. والدمان: إنني سعيد لأن يكون لي تلميذ، وإذا كان عملك على نفس قدر قدراتك، فأنا متيقن تمامًا من نجاحك. والكيمياء هي ذلك الفرع من الفلسفة الطبيعية التي حدث فيها أعظم التطورات، ولا تزال هناك إمكانية حدوث المزيد، إنها في غاية الأهمية حتى إنني جعلتها دراستي الخاصة.»
>
> ماري شيلي «فرانكنشتاين» ١٨٢٠

لقد قطعنا قدرًا لا بأس به، فقد ناقشنا طبيعة الكيمياء، وتركيب الذرات والمركبات الكيميائية، وخصائص العناصر كما هي موضحة في الجدول الدوري. واكتشفنا أيضًا الفئات الأساسية للتفاعلات الكيميائية مثل تفاعلات الأكسدة والاختزال، وتفاعلات الأحماض والقواعد، وكذلك تفاعلات الإزاحة. وشرحنا النظرية التي تشرح طبيعة الروابط الكيميائية ومبادئ التفاعلات الكيميائية. وناقشنا الاعتبارات العملية للقوى البينجزيئية والتركيز، كما درسنا الخصائص

التي تقتصر على الغازات وتفاعلاتها. وكشفنا عن الفروق الصارخة بين الخصائص المراوغة للمحاليل والخصائص الملموسة للمواد الصلبة. ونقبنا في الديناميكا الحرارية واكتشفنا مرحلة الاتزان، وتفحصنا أهمية مفهوم الاتزان الكيميائي، ورأينا كيف أنه يمكن لمبادئ الديناميكا الحرارية أن تتنبأ بخصائص المحاليل الترابطية المُلاحظة. واطلعنا على قواعد علم الحركية الكيميائية، وختمنا دراستنا لمبادئ الكيمياء بنظرة للكيمياء المستحثة بالكهرباء والضوء.

يا له من عمل جيد!

وبعد أن قضينا الكثير من الوقت والجهد في البحث والتمعن والاستقصاء، نحن الآن مستعدون لجني الثمار: إذ سنرى كيف تجتمع معًا هذه المبادئ الأساسية في بعض من مجالات الكيمياء المميزة والمتخصصة — مثل الكيمياء العضوية والكيمياء غير العضوية والكيمياء الحيوية والكيمياء التحليلية — وسنلقي نظرة للأمام على مستقبل متشابك ومتداخل.

وقبل أن نبدأ لنلق نظرة عامة قصيرة. وأود أن أذكر أن الكيمياء العضوية والكيمياء غير العضوية ليستا تطبيقات على الكيمياء بغرض الاكتشاف فحسب لكنهما اكتشافات لهما أهداف محددة في الأذهان. ويهتم أخصائيو الكيمياء العضوية بكيمياء الهيدروكربونات، وهي المواد المكونة من كربون وهيدروجين مرتبطين برابطة تساهمية. والهدف من الكيمياء العضوية هو تركيب خصائص وتفاعلات السلاسل المترابطة، والمعقودة في شكل حلقات للهيدروكربونات في كل تنويعاتها المطلقة وفهمها، وتوجد هذه المواد في كافة أنحاء عالمنا الزيتي الشمعي، وفي المواد التي تُصنع منها أجسادنا.

أما أخصائيو الكيمياء غير العضوية فهم يبحثون في المواد المصنوعة من المائة عنصر أو ما يزيد الموجودة في الجدول الدوري، الذي يُعد مشروعًا ضخمًا. ولكن، مع أن هذه المركبات غنية ومعقدة في سلوكها، فهي لا تكوّن سلاسل طويلة ومترابطة مثلما تفعل الهيدروكربونات، من ثم يكمن تنوعها في تركيبها العنصري. وتكوّن المواد غير العضوية المحاليل الصخرية والملحية التي تكوِّن الأرض والكواكب ومواد النجوم كافة. ويعمل أخصائيو الكيمياء غير العضوية على استنباط تركيبات لأشباه الموصلات والموصلات فائقة التوصيل، والسبائك والكثير غيرها من المواد الجديدة.

ويدرس علماء الكيمياء الحيوية هوية المواد التي تعد أساس الحياة وخصائصها وتفاعلاتها. وتستمد هذه المحاولة المهمة التي تتعقد باطراد من جميع أنظمة الكيمياء، وتوظف مبادئ الكيمياء كلها لفهم تفاعلات الكيمياء التي تقود دورات الحياة.

ويأخذ علماء الكيمياء التحليلية عن الأنظمة السابق ذكرها كافة. والهدف الذي يسعى نحوه علماء الكيمياء التحليلية هو تحديد هوية المواد ومقاديرها — ما إذا كانت مواد عضوية أم غير عضوية أم مواد كيميائية حيوية — عن طريق فصلها في بعض الأحيان من سائلها، وفي أحيانا أخرى عن طريق عزلها في قالب معتم. وعلى كل كيميائي أن يتمتع ببعض من السيطرة على فن تحليل المواد الكيميائية من حيث تركيبها وتركيزها. ويجد كيميائيو التحاليل التوظيف كجزء متكامل من المعامل الأكاديمية والصناعية والحكومية. وسوف نكتسب بعض التقدير للبراعة الفنية التي يتمتع بها كيميائيو التحاليل عن طريق متابعة بعض من المغامرات الخاصة التي يتمتع بها كيميائيو التحاليل — كيميائيو الطب الشرعي — في أحداث يوم شيق.

والآن، هيا بنا إلى المعمل …





تجربة الكيمياء العضوية: من أسبرين إلى حامض

«لقد حدث هذا في غضون يوم من أيام الدراسة، حدث أنه في خضم انغماسهم في غموض وأسرار الكيمياء العضوية أن دوريس فان بنستشوتن اقتحمت حياتهم.»

جاك لندن «وجه القمر وروايات أخرى» ١٩٠٥

«عندما تمكنت من إذابة الهيدروكربونات التي كنت أعمل بها، تقابلت مرة أخرى مع مشكلة الشلتوس، وتفكرت مليًّا في الأمر برمته مرة أخرى.»

آرثر كونان دويل في روايته «علامة الأربع» ١٨٩٠

لأن الكربون يتمتع بخصائص فريدة عديدة، مثل قدرته على تكوين سلاسل طويلة، تظهر المركبات العضوية — أو مركبات الكربون — في أنواع غير منتهية العدد. ويقضي أخصائيو الكيمياء العضوية وقتهم في دراسة الطرق

التي يتفاعل بها الكربون مع نفسه ومع المركبات الأخرى، ثم يستخدمون هذه المعلومات لكي يصمموا التراكيب، وهي إجراءات تدريجية يمكن عن طريقها تخليق مركب معين من المادة المعطاة في البداية. وقد صمم أخصائيو الكيمياء العضوية، باستخدام معلوماتهم عن نشاط الكربون، تركيبًا لكل المواد العضوية الرائعة التي لدينا، ابتداء من اللدائن وحتى الأدوية. غير أن هذه الليونة التي تتمتع بها جزيئات المواد العضوية تمثل أيضًا التحدي الذي تكابده الكيمياء العضوية؛ إذ يجب مراعاة الأنظمة التخليقية بشدة وهي قد تتضمن خطوات عدة تتطلب كل منها ضبطًا محكمًا، وتقدم التجربة الآتية مقدار طفيف من الخطوات التي قد تُتضمن في مثل هذا التخليق.

وفي هذه التجربة، سنعزل أولًا المكون النشط الذي يوجد في الشكل الحديث للأسبرين، حامض ساليسيلات الإسيتيل، باستخدام إجراء يتمتع بقداسة تقادمه، خاص بالكيمياء العضوية يُسمى «الاستخلاص». ويعد تحضير دليل الكرنب القرمزي وهو نوع من الاستخلاص العضوي، فالصبغة القرمزية العضوية تُستخرج من الكرنب مع الماء، وهنا سنستخدم الكحول لاستخراج حامض ساليسيلات الإسيتيل من الأسبرين.

وعندئذ سوف نحول حامض ساليسيلات الإسيتيل إلى حامض الخليك عن طريق اتباع تخليق عضوي خطوة خطوة، وتُوضح معادلة التفاعل الآتية، ويبين شكل ٢-١-١ تركيب الجزيئات في التفاعل. وتمثل الخطوط الموجودة بين رموز العناصر الروابط، ولاحظ أن بعضها يمثل روابط ثنائية، فالكربون عنصر متنوع جدًّا.

والكيمياء العضوية هي نظام يتطلب صرامة، ولكن يمكن تقليل الألم بقليل من الأسبرين.

استخلاص حامض ساليسيلات الإسيتيل وعزله

ضع من عشرة إلى خمسة عشر قرص أسبرين، سواء كان أسبرينا خالصًا أم في محلول منظم، في وعاء زجاجي. ارتد نظارة الأمان الواقية ثم صب نصف كوب (١٢٠مليلترًا) من كحول الأيزوبروبيل، ويمكن أن يفي ٧٠٪ من الأيزوبروبيل بالغرض. لكن ينبغي أن تكون هذه الكمية كافية لتغطية الأقراص مع ترك بعض الفراغ. ولن يتطلب الأمر الكثير من المذيب لاستخراج حامض إسيتيل

$$\text{حامض ساليسيلات الأسيتيل} + H_2O \longrightarrow \text{حامض ساليسيليك} + H_3C-C(=O)OH$$

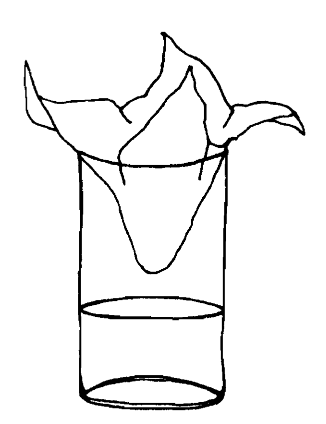
حامض ساليسيلات الأسيتيل

حامض ساليسيليك

حامض أسيتيك

$$CH_3CO_2C_6H_4CO_2H \quad + \quad H_2O \quad \longrightarrow \quad C_6H_4CO_2HOH \quad + \quad CH_3CO_2H$$

شكل ٢-١-١: أنه يمكن تحويل حامض ساليسيلات الإسيتيل، المكون النشط للأسبرين، إلى حامض ساليسيليك وحامض أسيتيك الذي هو مكون أساسي للخل.



ساليسيليك من الأقراص. سخن الوعاء تسخينًا هينًا في ميكروويف على نصف القوة لمدة ثلاثين ثانية، ثم أخرجه. ينبغي أن يكون المذيب دافئًا وليس مغليًّا. يستخرج المذيب الدافئ مركب الأسبرين من الأقراص تاركًا الغلاف النشوي ومكونات أخرى غير مذابة. تذكر مناقشتنا التي تدور حول أن «الأشباه تُذيب الأشباه»، لا تذوب النشا غير القطبية في مذيب الكحول والماء القطبي. إذا كان لديك ملعقة أو شوكة قديمة، يمكنك أن تفتت برفق المادة المتبقية لكي تحصل على المزيد من حامض إسيتيل ساليسيليك المستخرج. تستغرق هذه العملية ما يقرب من خمس عشرة إلى عشرين دقيقة، لكنك ينبغي أن تتحلى بالصبر.

خذ منشفة ورقية وابسطها فوق سطح كوب كبير. اضغط عليها من المنتصف بخفة حتى تشبه القمع. صب بحذر محلول الأسبرين والكحول من خلال المنشفة الورقية، وسيعمل هذا على تجميع المتبقي من الأقراص في المنشفة الورقية، وسيسمح بنفاذ السائل الصافي، الذي يُدعى «السائل الأم»، إلى قاع الكوب. وبمجرد ترشيح كل المحلول، ارتد قفازك المصنوع من المطاط وأزل المنشفة والمتبقي من الأقراص. حاول ألا تلمس الجزء الرطب من المنشفة الورقية، إذ يكون المذيب محملًا بحامض الإسيتيل ساليسيليك الذي قد يعلق ببشرتك بعدما يتبخر المذيب. قد ترغب في غسل يديك إذا حدث ذلك، مع أن الأسبرين لا يعد مركبًا خطيرًا عندما يعلق بنسب ضئيلة بيديك. والآن نجد أن حامض الإسيتيل ساليسيليك ذاب في الكحول الموجود في الكوب.

افتح الصنبور واملأ الكوب المحتوي على السائل الأم بماء الصنبور الفاتر حتى يمتلئ نحو ثلاثة أرباع الكوب، وإذا كان استخراجك للكحول ناجحًا، ينبغي أن يكون هناك بلورات بيضاء صغيرة مسطحة من حامض الإسيتيل ساليسيليك تملأ الخليط. ويعتبر حامض الإسيتيل ساليسيليك عديم القطبية إلى حد ما ويذوب بسهولة في مذيب عديم القطبية إلى حد ما مثل كحول الأيزوبروبيل. لكن ما إن يُضاف الماء ذو القطبية الشديدة حتى يُجبر حامض الإسيتيل ساليسيليك على الخروج من المحلول بسبب انخفاض قابليته للذوبان ويكون بلورات، ولكنها لا تظهر في شكل بلورات كبيرة مستقلة لكنها تميل لأن تشبه رقائق صابون بيضاء، وقد تبدو لزجة إلى أن تجف.

ومن المثير دائمًا أن تلاحظ حجم البلورات المتكونة، ولاسيما عندما تقارنه بحجم الأقراص التي استخدمت من البداية. أعد مرشحًا آخر باستخدام منشفة ورقية في كوب كبير وجمع فيه بلورات حامض الإسيتيل ساليسيليك عن طريق صب خليط الكحول والماء والبلورات في المنشفة. أزل البلورات من الكوب الأول بغسله بقليل من ماء الصنبور الفاتر، ثم صب هذه الكميات الضئيلة عبر المنشفة الورقية. وسيعمل هذا أيضًا على إزالة البلورات من المنشفة. احتفظ بالبلورات في المنشفة وتخلص من المذيب المستعمل المتساقط من المنشفة الورقية.

عندئذ من الممكن أن تنتقل إلى الإجراء التالي، وفي حال إذا كان لديك متسع من الوقت، ابسط المنشفة التي تحوي البلورات على طاولة لتجف في الهواء، قد

يستغرق هذا الليل بطوله. تأكد من وضع البلورات بعيدًا عن متناول الأطفال والحيوانات الأليفة. وقد يكون النسيم القوي ضارًّا أيضًا لأن البلورات الجافة تكون هشة ورقيقة. ولاحظ أن رائحة البلورات تختفي بمجرد أن تجف، وتختفي حتى أيضًا رائحة كحول الأيزوبروبيل. وعندما تجف البلورات تلاحظ كيف أصبحت هشة عن طريق التقاط المنشفة، وقد كان معظم الوزن الأصلي للبلورات المبللة خاصًّا بالمذيب.

التحلل الحفز حامضي إلى حامض ساليسيليك وحمض خليك

إذا كنت قد تركت بلوراتك تجف طوال الليل، عندئذ ارتد نظارة الأمان الواقية مرة أخرى. خذ نحو ربع مقدار من بلورات حامض الإسيتيل ساليسيليك المبللة أو الجافة وضعه في وعاء زجاجي يمكن أن يُستخدم في التسخين. والبلورات الجافة هشة للغاية وينبغي أن تتعامل معها بحذر حتى لا تتبعثر. خذ زجاجة من المحلول المُخفض لقلوية مياه حوض السمك الموصى بشرائه في قائمة المشتريات والمحاليل، ثم صب منه قطرة قطرة حتى تغطي عينة حامض الإسيتيل ساليسيليك تمامًا. والمحلول المُخفض للقلوية هو حامض الكبريتيك الذي يكون غير مركز بحيث يتلاءم تمامًا مع هذا التفاعل، فهو يعمل كعامل محفز، إذ يُسرع التفاعل ولا يُستهلك في أثناء التفاعل. وينبغي أن تتوخى الحذر البالغ في هذه المرحلة من التجربة، إذ سيتبقى حامض الكبريتيك المخفف في نهاية التجربة، وحتى الحامض المخفف ينبغي أن يُعامل بحذر بالغ.

سخن هذا الخليط ببطء لما يقرب من خمس عشرة ثانية في فرن ميكروويف عند درجة حرارة منخفضة (بنسبة ٥٠٪). أخرج الوعاء من الميكروويف، وأبعد بيدك أي روائح منبعثة من قمة الوعاء في اتجاه أنفك. نجد في نهاية التفاعل أن جزءًا من حامض الإسيتيل ساليسيليك سوف ينفصل عن هذا الجزيء بسبب البيئة الحامضية. والجزء الذي ينعزل ليصبح حامض الخليك الذي يمثل الأساس النشط للخل، وفي آخر الأمر يمكنك أن تميز الرائحة بوضوح. وبمجرد تبخر حامض الخليك، تكون بقايا البلورات هي حامض الساليسيليك ذو التأثير المسكن للألم. ويمكن التخلص من كافة المواد الصلبة بإلقائها في سلة القمامة، والتخلص من السوائل بسكبها بحذر في المرحاض.

والتفاعل الذي أجريته لتوك هو تفاعل عضوي يُعرف باسم التحلل الحفز حامضي acid-catalyzed hydrolysis. وتعني اللاحقة lysis «القطع» في حين تعني كلمة hydrolysis القطع باستخدام الماء. وقد حدث في هذا التفاعل «قطع» حامض الإسيتيل ساليسيليك باستخدام الماء لتكوين حامض الساليسيليك وحامض الخليك كما هو موضح في شكل ٢-١-١.



الفصل الأول

عضوية ليس إلا

«ومن ناحية أخرى، اعتدت أن أرى بول تيكلورني منغمسًا بعمق في دراسة استقطاب الضوء وحيوده وتداخله وانكساره الأحادي والثنائي ومختلف المركبات العضوية الغريبة.»

جاك لندن، كتاب «Moon-Face and other stories» ١٩٠٥

حتى ونحن نتحدث، يصنع بعض الكيميائيين في كولمبيا الصوف خلسة من نبات الجوته.

روبرت فروست قصيدة «Build Soil» ١٩٥٠

إنه لشيء بناء أن ننظر حولنا إلى عدد الأشياء المكونة في المقام الأول من مواد عضوية — أي المواد المكونة من مركبات الكربون والهيدروجين المرتبطة بروابط تساهمية التي يُطلق عليها الهيدروكربونات — سواء المعالجة أو غير المعالجة، بداية من الأسفلت إلى الأسبرين، فعالمنا مغمور بالهيدروكربونات.

وتشتمل هذه الهيدروكربونات على اللدائن التي أصبحت هذه الأيام موجودة في كل شيء بداية من السيارات إلى تجهيزات المكاتب، ومن معدات

المزارع إلى الملابس. وجميع الأطعمة تعتبر مواد عضوية من شرائح اللحوم إلى رقائق البطاطس المقلية، ومن السكر إلى السردين؛ مما يضعنا أمام أكبر فئة وهي الكائنات الحية كافة — أي النباتات والحيوانات والفطريات والبكتريا. وأنواع الوقود التي نستخدمها — مثل البنزين والغاز الطبيعي والبروبان والبيوتان — هي أيضًا مواد عضوية لأنها تُشتق من كائنات كانت حية يومًا ما مثل الأشجار والديناصورات والأسماك. وتتراوح المنتجات النفطية من الأسفلت وحتى الأسيتون. والفحم كتلة مادة عضوية. والصابون والشامبو أيضًا هما مواد عضوية سواء ذُكِرَ ذلك عنهما أم لم يُذكر. وماذا عن مواد التجميل، أتعد مواد عضوية؟ نعم. وماذا بشأن معجون الأسنان ومزيل العرق؟ غالبًا ما يتكونا من مركبات عضوية قاعدية مُضافًا إليها القليل من المواد الفعالة. والأدوية؟ الأدوية هي مواد عضوية، وإذا لم تكن المواد الفعالة مواد عضوية، فإن الناقل النشوي أو الكبسولة الجيلاتينية مواد عضوية. وقد يكون أي مشروب ذا نكهة مكونًا من الماء في المقام الأول، لكن المواد الملونة أو النكهات سواء أكانت طبيعية أم مصنوعة من قطران الفحم فهي مواد عضوية. أما عن الملابس، سواء الطبيعية أو الاصطناعية فهي مصنوعة من الألياف. وفي كثير من الأوقات، تُستخدم كلمة «عضوي» لتعني «الأشياء المُنتجة طبيعيًّا وليس صناعيًّا»، لكن في حقيقة الأمر، تكون كل الهيدروكربونات مواد عضوية بصرف النظر عن الطريقة التي جاءت بها إلى حيز الوجود، لكن المركبات العضوية الأولى كانت طبيعية بلا أدنى شك. وجسم الإنسان هو عضوي أيضًا.

السؤال إذن: لماذا تتكون العديد من المواد من الهيدروكربونات؟ في الواقع، الأمر ليس بهذا القدر من الغموض، فإجابة هذا الأمر تكمن في أعماق الأرض! فعندما نقارن كتلة الأرض بما فيها باطنها غير العضوي، بكتلة الهيدروكربونات نجد أن الهيدروكربونات، مع كل ذلك، ليست بكل هذا القدر من الانتشار. فالكربون لا يُصنف ضمن عناصر القمة الثمانية التي يتألف منها كوكبنا (الحديد والأوكسجين والسيليكون والماغنسيوم والنيكل والكبريت والكالسيوم والألمنيوم على الترتيب من حيث الوفرة)، ولا حتى من بين عناصر القمة الثمانية التي تكون قشرة الأرض (الأوكسجين والسيليكون والألمنيوم والحديد والماغنسيوم والكالسيوم والبوتاسيوم والصوديوم على الترتيب من حيث الوفرة). غير أن الكربون الذي لدينا يتكدس بشدة في الأطراف العلوية

من قشرة الأرض بسبب كتلة الكربون الذرية المنخفضة. وخلال التغيرات الكبيرة التي حدثت في الفترات الطويلة من عمر الأرض، انتقلت العناصر الأخف إلى القمة، مثل حب الفلفل الذي يطفو فوق سطح حساء البازلاء الخضراء. وبمجرد وجوده داخل القشرة الأرضية، كان الكربون قادرًا على أن يُشكل أكبر قدر من المركبات المتنوعة. يرجع ذلك في المقام الأول إلى تمتعه بالقدرة على تشكيل سلاسل روابط طويلة ومستقرة، وتُدعى هذه الموهبة «التسلسل». وتتجلى قوة واستقرار روابط الهيدروكربونات عند كسرها وانبعاث الطاقة منها، فالهيدروكربونات تعتبر وقودًا جيدًا.

ويمكن للهيدروكربونات أن تصبح سلاسل معقدة ومتداخلة بشكل جذاب، وذلك لأن الكربون يمكنه أن يكون أربع روابط منفصلة مع العناصر الأخرى ويمكنه أن يكون روابط مستقرة مع نفسه. وبالطبع ثمة عناصر أخرى يمكنها أن تكون سلاسل ذاتية مثل N_2، O_2، ولا يزال هناك عناصر أخرى يمكنها أن تكون سلاسل مثل الشكل الحلقي للكبريت S_8. غير أن هذه المقدرة على تكوين السلاسل المتعددة الأنواع والأطوال وفي الوقت نفسه البقاء طيعة وسائلة، هي موهبة ينفرد بها الكربون وحده. وتتمتع أيضًا مركبات الكربون بخصائص ثلاثية الأبعاد، وهي تعد مهمة لبناء عالمنا ثلاثي الأبعاد. ويتكون الميثان — الذي هو أكثر الجزيئات العضوية حيوية — من ذرة كربون واحدة وأربع ذرات هيدروجين، إذ ترقد ذرة الكربون في مركز الجزيء وتمتد نوى الهيدروجين الأربع إلى الخارج نحو الأركان الأربعة للشكل الرباعي الأوجه المألوف، كما هو موضح في شكل ٢-١-٢. ويُطلق على ذلك النوع من الرسم «الرسم الإسقاطي»، لأن كلًّا من الأوتاد المصمتة وتلك المرسومة في هيئة خطوط متقطعة تشير إلى الروابط التي ستقع داخل أو خارج مستوى سطح الورقة في التركيب ثلاثي الأبعاد الحقيقي.

ومن زوايا هذا الجزيء الواحد، يمكننا أن نتخيل الطريقة المعقدة التي يمكن أن تُبنى بها السقالات بحيث تتلولب وتلتف مكونة أشكال متنوعة ومثقبة. وثمة مثل صغير نسبيًّا، يتضمن سبع ذرات كربون فقط، وهو الهبتان الموضح في شكل ٢-١-٣.

بل يمكننا أن نرى الكربون في مواقف أكثر مهارة من هذا، فالكربون يمكنه أن يكون روابط ثنائية وثلاثية مع نفسه كما هو موضح في شكل

شكل ٢-١-٢: تركيب الميثان CH_4. تشير الروابط التي تمثلها الخطوط المستقيمة إلى نوى الهيدروجين في السطح المستوي للورقة. وتشير الروابط التي تمثلها الأسهم المصمتة إلى نوى الهيدروجين الآتية من خارج سطح الورقة، وتشير الروابط التي تمثلها الأسهم المشرطة إلى نوى الهيدروجين الموجودة على الجانب الخلفي من سطح الورقة.

شكل ٢-١-٣: سلسلة مكونة من سبع ذرات كربون ملفوفة حول روابطها.

٢-١-٤. وينتج عن الروابط المتعددة أشكال هندسية مثلثية وخطية، مما يؤدي إلى اتساع دائرة الاختيارات المعمارية. وعندما تكون كل روابط المركب أحادية يُقال إن المركب مشبع، وبعبارة أخرى سيُقال إن الميثان المبين في شكل ٢-١-٢ والهبتان المبين في شكل ٢-١-٣ مشبعان، في حين أن التركيبات الموضحة في شكل ٢-١-٤ سيُقال إنها غير مشبعة. ولكي نقدر قيمة الاختلاف الذي يجلبه هذا التغير البسيط، فكر في الضجة المثارة حول الدهون المشبعة في مقابل الدهون غير المشبعة. إذن ما الفرق الناتج عن الرابطة الثنائية؟ سوف نستعرض الدهون المشبعة عند مناقشتنا لدور الدهون في الكيمياء الحيوية.

وكنتيجة لهذه البراعة الفائقة التي يتمتع بها الكربون في تكوين الروابط، فإن الكربون يمكنه أيضًا أن يكون مركبات مستديرة وحلقية دورية شبيهة بالسلاسل، ويمكنه أيضًا أن يربط دوائر عديدة معًا كما هو موضح في شكل

$$H-C\equiv C-H$$

شكل ٢-١-٤: الرابطة الثنائية والثلاثية في جزيئات الكربون. يُطلق عادة على المركب ثنائي الرابطة اسم إيثيلين في حين يُطلق عادة على المركب ثلاثي الرابطة اسم أستيلين.

٢-١-٥. وبعد أن تتقوى هذه الأنواع من المركبات بالحلقات المترابطة معًا، تصبح قوية بما يكفي لأن تتحمل ضغوط الحياة، وتتواجد في مواد مهمة عديدة من الناحية البيولوجية. وما إن يتكون الكربون في شكل دائرة، حتى تشارك نواة الكربون في بعض الأحيان الإلكترونات في مدار جزيئي كبير ينبسط عبر الحلقة بأكملها، وتُوصف الرابطة الناتجة بأنها أروماتية aromatic، لأنها توجد في جزيئات عضوية عديدة ذات رائحة مثل مركب البنزين — المركب الذي يضفي رائحة نفاذة على وقود البنزين — والجزيئات الأروماتية تكون مستقرة للغاية بسبب مداراتها الجزيئية المشتركة وهي توجد بالمثل في مواد عديدة مهمة من الناحية البيولوجية.

ومع وجود التنوع الهائل في الجزيئات العضوية، فإن الكيميائيين استطاعوا أن يبذلوا جهدًا واضحًا في تصنيف المواد المتعددة في عائلات من المركبات. وطريقة التصنيف التي نتجت عن هذه الجهود هي أن تصنف المركبات في عائلات طبقًا لوجود تركيبات معينة محددة للنوع التي تُدعى «المجموعات الوظيفية». ومثال على ذلك، سنتأمل في أربع عائلات من الهيدروكربونات تحتوي على الأوكسجين في مجموعاتها الوظيفية، وهي الكحوليات، والإيثرات، والأحماض العضوية، والإسترات.

أما الكحوليات فالمجموعة الوظيفية أو التركيب المحدد للهوية هو OH. وتتضمن كافة الكحوليات مجموعة OH، غير أن طبيعة باقي الجزيء هي التي تحدد الخصائص المتفردة التي يتباين بها هذا النوع من الكحول عن غيره؛ فالإيثانول هو الكحول الموجود في المشروبات الكحولية، والأيزوبروبيل هو

شكل ٢-١-٥: بعض تركيبات الهيدروكربونات ذات الحلقات.

الموجود في كحول الأيزوبروبيل، والميثانول يُستخدم في بعض الأوقات وقودًا، ولا يمكن أن يحل أي من هذه الأنواع محل الآخر. وقد يبدو مقبولًا للبالغين أن يتجرعوا كميات قليلة من الإيثانول في المناسبات الخاصة، لكنه من غير المحبذ على الإطلاق أن يتناولوا كحول الأيزوبروبيل أو الميثانول لأن هذه الأنواع من الكحول تسبب ضررًا جسديًّا جسيمًا بل قد تؤدي إلى الموت. والميثانول — الذي يمكنه أن يلوث المشروبات الكحولية المصنعة بطريقة غير احترافية — يُعرف بأنه يسبب العمى أو تلف المخ. ويوضح شكل ٢-١-٦ هذه التركيبات الثلاثة، لاحظ كيف يمكن أن يُحدث تغير طفيف في التركيب تأثيرًا كبيرًا على السلوك الكيميائي.

والترتيب المحدد للهوية للمجموعة الوظيفية للإيثر هو ذرة أوكسجين بين ذرتي كربون. (انظر شكل ٢-١-٧). ويُعرف نوع معين من الإيثر، وهو الإيثر ثنائي الإيثيل، بتأثير المخدر على مخ الثدييات، وهو تأثير يحظى بأهمية قصوى للمرضى الذين يُجرى لهم العمليات الجراحية حينما أُتقن استخدامه كمادة مخدرة أثناء العمليات الجراحية. والأحماض العضوية الموضحة في شكل ٢-١-٧ تحتوي أيضًا على الأوكسجين في مجموعاتها الوظيفية المحددة للهوية

كحول الأيزوبروبيل

إيثانول

ميثانول

شكل ٢-١-٦: ثلاثة أنواع من الكحول ذوي خصائص مختلفة.

إستر

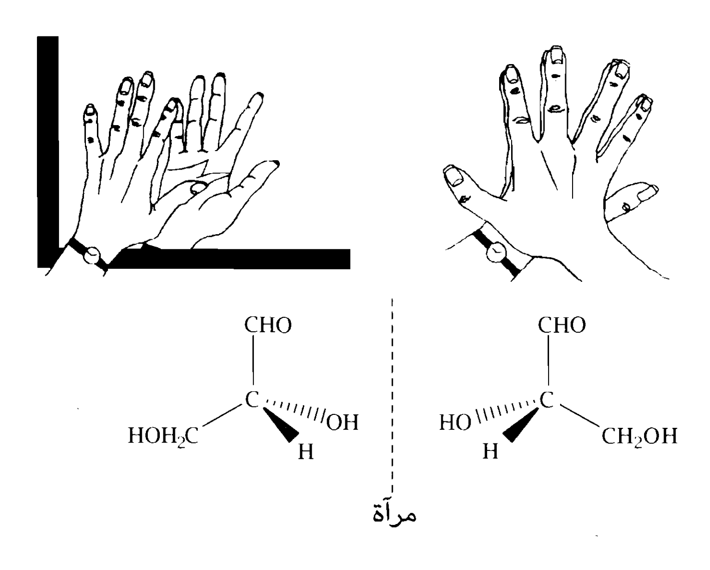
حامض

إيثر

شكل ٢-١-٧: مثالًا على الإيثر والحامض والأستر.

التي هي CO_2H. وحامض الخليك الذي استخدمناه في تجاربنا على نطاق واسع في شكل الخل هو حامض عضوي وله الصيغة الكيميائية CH_3CO_2H.

وتعد الأمثلة على النوع الثالث من المجموعات الوظيفية الموضحة في شكل ٢-١-٧، الإسترات، من مشتقات الأحماض العضوية. ففي الإسترات تحل مجموعة عضوية محل الأوكسجين الموجود في CO_2H. وتُعرف الإسترات بسبب تميزها برائحة تشبه رائحة الفاكهة المبهجة، وتستخدم في الروائح المقلدة، ومن ثم أيضًا تستخدم في نكهات الموز والكمثرى والأناناس. أما الأسبرين الحديث، أو حامض الإسيتيل سالسيليك، فهو من الإسترات. ونرى في شكل ٢-١-٧ مثالًا لكل منها: مثال للإيثر والحامض والإستر.



شكل ٢-١-٨: انعدام التناظر في المرآة لليدين وللجزيئين.

وقد تضم مركبات الكربون أيضًا ذرات عناصر أخرى يُطلق عليها «الذرات غير المتجانسة» heteroatoms، مثل النيتروجين والكبريت والكلور والبرومين وغيرها، لكن مهما كانت هوية الأنواع المترابطة، فالكربون دائمًا سيكوِّن أربع روابط سواء كانت روابط أحادية أم ثنائية أو ثلاثية، وعندما يكون للكربون أربع روابط أحادية، تظهر خاصية مثيرة، وهي خاصية اليدوية.

وتشبه خاصية اليدوية في الجزيئات مع خاصية اليدوية في الإنسان؛ لقد خُلق الإنسان بيد يمنى وأخرى يسرى، وهاتان اليدان مختلفتان اختلافًا واضحًا، فلا يمكن الخلط بينهما. وتتطابق كل منهما مع الأخرى تمامًا عندما توضع راحة اليد اليمنى على مثيلتها اليسرى أو عندما تُوضع على مرآة، لكن عندما تحاول أن تلصق إحدى اليدين على الأخرى — أي بطن إحدى اليدين في ظهر الأخرى، ستجد أن إبهاميك يذهبان في اتجاهين مختلفين. تحظى الجزيئات بخاصية اليدوية هذه أيضًا، فالكربون الذي يملك أربع روابط مختلفة يمكنه أن يتطابق مع صورته المعكوسة وجهًا لوجه في مرآة، لكن إذا وضع فوق صورته المعكوسة في المرآة فقد لا يظل متطابقًا مع الصورة، ويمكننا أن نرى مثالًا على ذلك في شكل ٢-١-٨.

وقد نتذكر من مناقشتنا حول قانون النسب الثابتة أن الأيسوميرات هي جزيئات بُنيت من نفس العدد والنوع من الذرات غير أنها منظمة في ترتيب مختلف، وقد استشهدنا بالحامض الفلميني والحامض السياني والحامض الأيزوسياني وصيغها الكيميائية على الترتيب هي: HONC، HOCN، HCNO. وقد رأينا أن الترتيب البسيط لهذه العناصر جعل من الأول مادة متفجرة والثاني مادة سامة والثالث مادة مسالمة شريكة في تركيبات عضوية بناءة عديدة. والأيسوميرات التي لا تختلف إلا في كونها صورة انعكاسية للأخرى تُعرف «بالأيسوميرات انعدامية التناظر في المرآة» chiral isomers (وتنطق كايرال باللغة الإنجليزية).

تتصف التوائم انعدامية التناظر في المرآة بخصائص مختلفة بعضها عن بعض، فعلى سبيل المثال، الشكل الواحد من مركب الكارفوني، وهو جزيء عضوي منعدم التناظرية المرآوية، يعطي رائحة النعناع، في حين أن صورته المنعكسة في المرآة تعطي رائحة الكراويا. وشكل واحد من جزيء الليمونين، وهو جزيء منعدم التناظر المرآوي أيضًا، يعطي رائحة ليمون في حين أن صورته المرآوية تعطي رائحة برتقال. ولكي نعي السبب الذي يجعل هذا الاختلاف الدقيق في الشكل يؤدي إلى مثل هذا الاختلاف الهائل في الخصائص، حاول أن تصافح يديك بنفسك أو أن تضع قدمك اليمنى في الحذاء الأيسر، ستجد أن هذا لا يصلح؛ فالحذاء لن يتطابق مع قدمك، وهذا هو الحال في أنظمة بيولوجية كثيرة، إذا لم يكن الجزيء مطابقًا فإن الأمر لن يجدي.

ويمكن أيضًا تمييز هذه الجزيئات المنعكسة صورتها في المرآة بعضها عن بعض بواسطة الطريقة التي تتفاعل بها مع الضوء المستقطب، والضوء المستقطب هو ضوء ذو مدى محدود الاتجاه. وفي مجال صناعة النظارات الشمسية، يُطلق على الضوء المنبعث في كل الاتجاهات «السطوع»، ولكي تعرف الفرق بين السطوع والضوء المستقطب، قلب نظارة شمسية مستقطبة على الوجهين للداخل والخارج وأنت تنظر إلى أشعة الشمس المنعكسة على سطح لامع. ولما كانت نظارة الشمس المستقطبة لا تسمح سوى بمرور الضوء ذو المدى المحدود من الاتجاهات، أو الاستقطاب، فمن ثم تقلل من السطوع. وعندما يواجه الضوء جزيئًا منعدم التناظرية المرآتية، قد يمر الضوء بانحراف عن المجال الكهربائي للجزيء غير المتماثل، يبدو هذا الأمر مثل ميل السيارة

أثناء الدوران. وإذا كان هناك عدد كبير من مثل هذه الجزيئات تتفاعل مع الضوء، فإن التأثير يمكن أن يكون كبيرًا لدرجة يمكن معها قياسه.

لنستخدم رمز حرف L لنشير إلى كلمة «الدوران لليسار» وحرف D لنشير إلى كلمة «الدوران لليمين» (وهما يخصان الجزيء المنعدم التطابقية المرآتية التي تعادل اليد اليسرى واليد اليمنى)، والجزيء المنعدم التطابقية المرآتية يمكن تصنيفه إلى الفئات L، D، طبقًا للطريقة التي يتفاعل بها مع الضوء المستقطب. وتعد جزيئات جسمانية كثيرة جزيئات عديمة التطابقية المرآتية، بما فيها السكريات التي تبني مجموعات الحامض النووي (DNA)، والأحماض الأمينية التي تكون البروتينات. علاوة على أنه قد اتضح أن لدى الجسم ميلًا شديدًا نحو التكوين L. وقد استخدمت كاتبة الروايات البريطانية دوروثي سايرز هذه الفكرة في إحدى القصص البوليسية التي كتبتها عام ١٩٣٠م وهي قصة The document in the case التي افترض في بدايتها أن الضحية ماتت على إثر تناول عش غراب مسموم[١] غير أن الفحص الدقيق للسم كشف عن أنها من ذلك النوع من الجزيئات المنعدم التناظرية المرآتية، ومن ثم يكون هذا السم صناعيًّا وليس طبيعيًّا.

إن أصل ميل الطبيعة نحو الاتجاه الأيسر غير معروف، لكن من المحتمل أن يكون نفس السبب الذي يفسر التقليد البريطاني المتبع في أن يكون موضع قائد السيارة في الجهة اليسرى من الطريق، فهي مجرد الطريقة التي بدأت عليها الأمور وظلت كما هي. ولكن لا يسبب الاختلاف في الصورة المرآتية للأيسوميرات هذا الاختلاف في حاستي الشم والتذوق فحسب، بل إن التعرض للأيسومر غير المتناظر في المركبات البيولوجية يكون ضارًّا أيضًا. وإحدى حالات الخلل تلك المشهورة بشأن التعرض للأيسومر غير المتطابق هي حالة الثاليدوميد (دواء مسكن) وهو مزيج من صورتيه المنعدمتي التناظر في المرآة. وللأسف، يعمل الشكل الذي لا يقوم بدور المسكن كمادة ماسخة يمكنها أن تسبب التشوهات عند الولادة. فبسبب مثل هذا الاختلاف في الأنشطة، وأيضًا لكي نقلل الجرعة المطلوبة، يُحبذ أن يُنتج دواء يحوي أحد الأيسومرين قدر المستطاع، من ثم يُبذل قدر لا بأس به من الجهود حاليًّا نحو هذا الهدف.

ولأن صورة الأيسوميرات المرآتية للمركبات المنعدمة التطابقية المرآتية هي مواد منفصلة في المقام الأول، فإن عدد الهيدروكربونات المختلفة كيميائيًّا يزداد

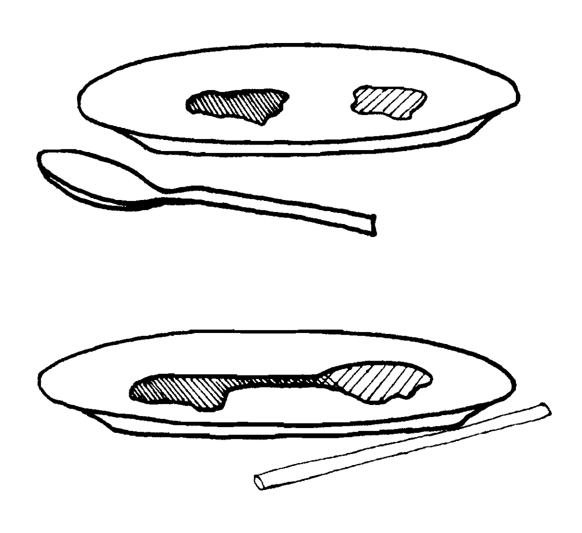
باطراد شديد، فالهيئة التي تضطلع بمسئولية مثل هذه الأشياء في الولايات المتحدة تُسمى «الجمعية الكيميائية الأمريكية»، تُقَدِّر عدد المواد الكيميائية العضوية المعروفة حاليًّا بما يقرب من عشرين مليون مادة، ويُكتشف المزيد كل يوم تقريبًا، وبالطبع تعد عملية إيجاد أسماء لكل هذه المنتجات شاقة للغاية، ولكن لحسن الحظ، تقوم هذه المهمة، التي يؤديها «الاتحاد العالمي للكيمياء البحتة والتطبيقية» IUPAC، على أسس نظامية.

وتُسمى المركبات العضوية بناء على خصائصها المميزة، تمامًا مثلما يمكن أن يُطلق على شخص نحيل ذي شعر أحمر، إما نحيل أو أحمر الشعر. والكحوليات التي وصفناها مسبقًا، يُطلق عليها الكحوليات لأنها تتمتع بخصائص مجموعة OH، أما الجزء الثاني من الاسم — مثل الميثيل أو الإيثيل أو الأيزوبروبيل — فهو يشير إلى نوع السلسلة التي ترتبط بها مجموعة OH.

غير أن هذا هو المكان الذي تترك فيه الكيمياء النحيلة صحبة الكيمياء العضوية. إذن لا يمكن تسمية الجزيء العضوي بناء على خاصية واحدة فحسب، فاسم الجزيء يجب أن يصف ملامحه كافة، ومن ثم يكون اسمه مميزًا، ولكي نقرر الاسم الذي ينبغي أن يُطلق على جزيء معين، يُحدد أولًا اسم المركب الأساسي، الذي عادة ما يكون سلسلة كربون تمثل الهيكل الأساسي مثل الميثيل أو الإيثيل، ثم تُضاف أسماء كل المجموعات الوظيفية، والخصائص التي يتمتع بها المركب كافة، وكل المجموعات المحددة للهوية، وعندئذ يمكن أن تكون أسماء الجزيئات العضوية ثقيلة للغاية في حد ذاتها.

ويقال إن كلمة Tetramethyldiaminobenzhydrylphosphinous هي واحدة من أطول الكلمات في قاموس اللغة الإنجليزية وتعني «رباعي مثيل ثنائي أمينو بنزهيدريل فوسفينس»، غير أن هذا الطول ليس بالأمر الغريب على الكيمياء العضوية. وقد اشتُهر بعض الكيميائيين بالتعبير عن قدراتهم الإبداعية عندما تتاح لهم فرصة تسمية تركيب قاعدي جديد. وقد سميت إحدى المواد الجديدة «بكمنستر فوليرين» Buckminsterfullerene لأنها تشبه شكل القبة الجيوديسية، وهو التصميم الذي أنشأه المهندس المعماري آر. بكمنستر فولير. ويقال إن حامض البربيتوريك، المادة التي تبدأ بها عائلة المركبات المعروفة بـ«البربيتويرات»، قد سُميت على اسم باربرا، اسم محبوبة العالِم الذي كان أول من عزل هذا المركب.

وبعيدًا عن استخدام أسماء المهندسين والمحبوبات في تسمية المركبات، فأخصائيو الكيمياء العضوية يقضون وقتهم أيضًا في التقصي عن الأعداد المذهلة من التفاعلات التي يمكن أن يدخل فيها كل مركب من هذه المركبات. وكما شاهدنا في تجربتنا، فإن تحريك جزء واحد فقط أو إزالته، يمكنه أن يغير خصائص المادة تغييرًا جذريًّا. لذا تمتلئ أدراج الكيميائيين العضويين بالمجلات المخصصة لتعقيدات الكيمياء العضوية، ويبقى قدر لا بأس به من المهام للعمل عليها. وكما تتحول المواد الخام من مواد بترولية إلى كتلة حيوية أو استخدام المواد المعاد تصنيعها — إذ إنه أمر حتمي بلا جدال — فإن الكيمياء العضوية تمر مرة أخرى بالكيمياء القديمة وتستنبط منها كيمياء جديدة. لكن تذكر أن كل مادة لزجة عضوية يجب أن يكون لها علاقة بتربة صخرية رملية، ومحيط من الماء، وغلاف جوي من الهواء، أما عن عالم الكيمياء غير العضوية فهو ما سنخوض فيه لاحقًا.



تجربة الكيمياء غير العضوية: أنتروبيا، وأمونيا، وأميبا

«ثمة سنوات أخرى محملة بدفعات من الزهور والأوراق وطيور العندليب والسُّمنة والحسون، وتأخذ مثل هذه المخلوقات الزائلة مواقعها، التي كانت منذ سنة واحدة فقط مقرًّا لغيرها، حينما لم تكن هذه المخلوقات سوى بذور أو أجنة وجسيمات غير عضوية.»

توماس هاردي في روايته «تس سليلة دربرفيل» ١٨٩٠

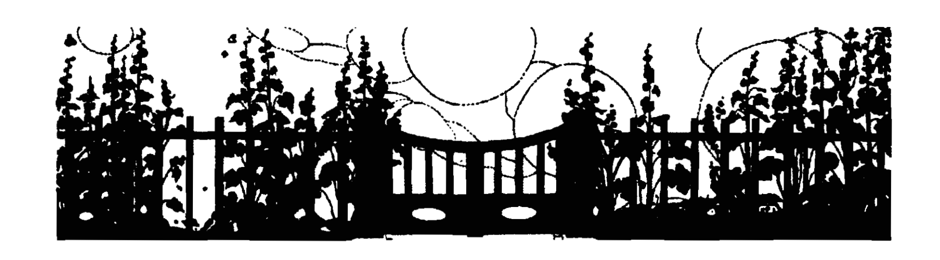
خذ كوب ماء وبعض قطرات من ملون الطعام المقترحة في «قائمة المشتريات والمحاليل». أضف برفق شديد قطرة من ملون الطعام إلى كوب الماء، مراعيًا أن تجعل زجاجة ملون الطعام قريبة من السطح بقدر ما تستطيع حتى تقلل الاهتياج. عندئذ استرخ واستمتع بمشاهدة رقصة البالية الجميلة التي تقوم بها قطرة ملون الطعام وهي تنتشر في الماء، نجد أن قطرة ملون الطعام تمتزج تلقائيًّا بالماء بسبب الأنتروبيا، التي هي ميل النظام الطبيعي نحو حالة من الفوضى القصوى.

الآن، وبعد أن تتأكد من ارتدائك لنظارة الأمان الواقية، خذ محلول خلات الحديد المذكور في «قائمة المشتريات والمحاليل»، وضعه في طبق من السيراميك أو الزجاج بحيث يكون قطر المحلول نصف بوصة (١ سم). راع ألا تجعل بقعة المحلول الصغيرة تنتشر في الطبق. إذا وجدت أن لبقعة المحلول قمة بارزة لأعلى ومستديرة بسبب التوتر السطحي، عندئذ تكون جاهزًا للخطوة التالية، أما إذا لم تجد ذلك، فإن ذلك يشير إلى وجود بعض البقايا في الطبق. في هذه الحالة أحضر طبقًا نظيفًا وجافًّا وحاول مرة أخرى.

خذ بعض القطرات من النشادر، واصنع بقعة أخرى لها نفس البروز لأعلى على بعد نحو ربع بوصة (نصف سم) من بقعة محلول خلات الحديد. والآن ارسم بحذر خطًّا من السائل يصل ما بين السائلين عن طريق جر طرف ماصة من بقعة إلى الأخرى، على أن تراعي ألا تندمج البقعتان إلا في نقطة اتصالهما.

لاحظ أن المحلولين يمتزجان أحدهما في الآخر، وتكون الأشكال المتكونة غاية في الجمال والروعة، وكأنها حديقة متحركة، ويمكن جعل حركة هذه العملية أبطأ عن طريق إضافة قطرة من الجلسرين أو زيت معدني بين الخليطين وتوصيل البقعتين إلى البقعة التي تتوسطهما. ويمكن مشاهدة تفاعل دمج للأشكال مشابه عن طريق إضافة بقعة من محلول كبريتات النحاس إلى محلول النشادر أو كبريتات النحاس ومحلول بيكربونات الصودا.

وأود أن أذكر مرة أخرى أن هذا الخلط يحدث تلقائيًّا، لكن ثمة عنصرًا آخر للتسلية في مثل هذا التفاعل الكيميائي أيضًا. شاهد الحركة التي تشبه حركة الأميبا التي يخطو بها المحلولان غير العضويين أحدهما نحو الآخر وموجات التفاعل التي تنتشر عبر الطبق في شكل أشبه بأصابع اليد، ويمكن للمرء أن يتخيل التكون الأول للأجسام في الحساء الكوني البدائي كما بوسعه أن يتخيل التقدم ببطئ وإطراد للخروج من هذا الحساء.



الفصل الثاني

صخور الكيمياء

«حالما تكون هناك، ستشعر كأنك قطرة من الماء على قطعة البلور الصخري، ووسيلتك ستسبغ طابع الجلال على عدم تميزك.»

توماس هاردي في رواية «A pair of blue eyes» ١٩٠٠

نرجو أن نكون قد أقنعنا القارئ بأهمية الكيمياء العضوية، ولكن ليس على حساب الكيمياء غير العضوية. فمن الأحجار الكريمة إلى الحجر الجيري ومن النترات إلى الفوسفات، فالكيمياء غير العضوية مهمة للغاية أيضًا. وإذا كان من الممكن وصف الكيمياء العضوية على أنها كيمياء الهيدروكربونات، فإن الكيمياء غير العضوية يمكن وصفها على أنها كيمياء كل شيء آخر — وتعبير «كل شيء آخر» تغطي الكثير جدًّا. في الواقع، مواد عديدة من التي ذكرناها هي بالفعل مواد غير عضوية مثل المعادن وأشباه الموصلات والأملاح والكثير من الأحماض والقواعد. على أن اهتمامنا الثقافي بالمركبات العضوية، الذي ينبع من غزارة وتوافر المواد العضوية الأولية في شكل النفط أو الفحم، قادنا إلى عقلية عضوية. وهذه العقلية التي تستحوذ عليها هذه الفكرة الواحدة

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	العناصر الانتقالية										Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Act	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	•	•	•						

*Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
†Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

شكل ٢-٢-١: الفلزات الانتقالية التي توجد في الجزء الذي يتوسط الجدول الدوري.

قد أفضت إلى اعتمادية مؤسفة على مصدر محدود، غير أنه، بإلقاء نظرة إلى الوراء على العناصر الموجودة في القشرة الأرضية، نجد أن الأوكسجين والهيدروجين أكثر وفرة من الكربون (فالأوكسجين يمثل وحش الجودزيلا في الرسم البياني والكربون يمثل الفأر الخارق)، من ثم، قد يكون هناك بعض البدائل للعضوية. فنجد في الوقت الحالي أن خلايا الهيدروجين والأوكسجين تستخدم في تشغيل المكوك الفضائي، ولديها القدرة على تشغيل السيارات وكذلك أجهزة الدي في دي. ومن السار أن نعرف أنه مع كل هذا يصعب إتقان الأمور، فالمستقبل يحمل بدائل للبترول الخام. وسنلقي هنا نظرة على بعض الموضوعات التي تمثل حاليًّا الإطار الخاص للكيمياء العضوية، وهي المركبات التناسقية الترابط المتراكبة للفلزات الانتقالية، وكيمياء المجموعات النموذجية، والكيمياء الإشعاعية.

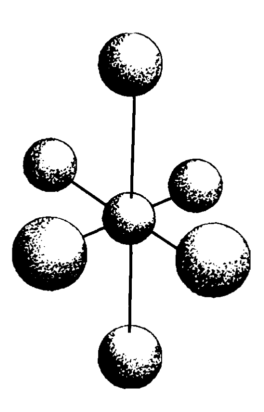
وتقع الفلزات الانتقالية في جزء عريض ضمن العناصر التي تشكل مرحلة الانتقال من لافلزات إلى فلزات، كما هو موضح في شكل ٢-١-٢.

وتتمتع هذه العناصر بكيمياء نابضة بالحياة بدرجة مميزة تنبع في المقام الأول من براعتها في الدخول في حالات أكسدة مختلفة. وكما نتذكر من مناقشتنا لكيمياء الأكسدة والاختزال، تسعد معظم العناصر جدًّا بمشاركة إلكتروناتها مع عناصر أخرى ومن ثم يمكنها جميعًا أن تصل إلى العدد الأمثل

من الإلكترونات. والأمر المذهل بشأن الفلزات الانتقالية هي أنها يمكن أن تصل إلى حالة الإشباع عن طريق اثنتين أو ما يزيد من ترتيبات مختلفة للإلكترونات، ويمكن أن نتذكر من تجربة الأكسدة والاختزال أن خلات الحديد ذات اللون البرتقالي الفاتح قد تحولت إلى اللون الأخضر عند إضافة النشادر وإلى اللون الأحمر عند إضافة فوق أكسيد الهيدروجين. تسبب فوق أكسيد الهيدروجين في تحويل الحديد من أيون فاقد إلكترونين (Fe^{2+}) إلى أيون فاقد لثلاث إلكترونات (Fe^{3+}). ويأتي التغيير الأول الحادث في اللون (من اللون البرتقالي إلى اللون الأخضر) نتيجة لإضافة النشادر. ويحدث التغيير الثاني (من الأخضر إلى الأحمر) نتيجة لتفاعل جزيئات النشادر مع الأيون الجديد بطريقة مختلفة. ويُطلق على الطريقة التي تحفظ بها الأيونات أو الجزيئات المحيطة نفسها بالقرب من الأيون المشحون والطريقة التي تغير بها نفسها حوله «تناسقها» مع الأيون. ويكون التركيب الناتج هو أيون ومجموعات تناسقية يُطلق عليها «متراكب التناسق». ويُطلق على دراسة متراكبات التناسق المتكونة بين أيونات الفلزات الانتقالية والجزيئات المحيطة بها «كيمياء التناسق».

وتنبع دراسة كيمياء التناسق من الملاحظة التي تشير إلى أنه لا يوجد شيء في المحلول على الإطلاق يكون في حالة عزلة تامة. وحتى أكثر الأيونات عزلة في المحلول تكون محاطة ببطانة من الأيونات المخالفة (الأيونات التي تحمل شحنة مخالفة) وبمادة مذيبة أو بكليهما معًا؛ لأن الفلزات الانتقالية غالبًا ما تكوّن أيونات موجبة (وتحدث الاستثناءات النادرة لهذا الأمر مع المعادن الغريبة أو في ظل ظروف غير عادية)، وتكون محاطة بجزيئات الماء التي تحمل في أحد طرفيها جزيئات الأوكسجين التي تحمل شحنة سالبة عالية للغاية تقترب من الجزيئات الموجبة. وإذا وُجدت أيونات أو جزيئات أخرى في المحلول مثل أيون الخلات أو النشادر كما هو الحال في تجربتنا، يمكن لهذه الأيونات أو الجزيئات أيضًا أن تُحدث تناسقًا مع الأيون الفلزي المركزي كما هو موضح في شكل ٢-٢-٢. وعامة يوجد متسع لأربعة أو ستة أنواع من هذه المرافقات تُسمى «الليجندات».

والليجند هو أي جزيء صغير أو أيون ينجذب لأيون الفلز ويحيط به، والليجندات المعروفة هي H_2O، NO_2، Cl^-، NH_3 (الماء، وثاني أكسيد



شكل ٢-٢-٢: أيون فلز في المنتصف مُحاط به ستة أيونات أو جزيئات مصاحبة/ملتحمة.

النيتروجين، والكلوريد، والنشادر). ويتوقف مدى كون الأيونات أو الجزيئات محكمة أو غير محكمة، على طبيعة الليجندات والشحنة التي يحملها الأيون.

وكما لاحظنا في مناقشتنا للكيمياء الضوئية — وكما نواجه في الحياة اليومية لدى استخدامنا للمواد بداية من معجون الأسنان المبيض وحتى الأكواب الملونة باللون الوردي — يتفاعل الضوء مع المواد الكيميائية، وسواء أكانت هذه التفاعلات تفاعلات ملمعات أو معتمات، فجميعها تحدث على مستوى الجزيئات. وفيما يتعلق بمتراكبات التناسق غير العضوية، يعتمد لون الضوء الذي يتفاعل مع الجزيء على طبيعة الليجندات، ومدى كونها في وضع محكم أو غير محكم في التحامها بأيون الفلز. ونتيجة لحدوث امتزاج معقد للمؤثرات، بما في ذلك التجاذب الإلكتروني وقوى الجذب البينجزيئية والأنتروبيا، تنجذب النشادر بشدة نحو أيون الحديد. وعندما أُضيفت النشادر إلى محلول الحديد، أحاطت جزيئات النشادر بأيون الفلز حيث حلت محل بعض جزيئات الماء وأيونات الخلات وغيرت لون المركب في هذه الأثناء. وعندما أضفنا فوق الأكسيد، غيرنا حالة أكسدة الحديد ومدى إحكام الليجند حول الفلز. وعليه، غيرت إعادة الترتيب تلك الطريقة التي تفاعل بها الضوء مع المركب، أو بكلمات أخرى، غيرت اللون.

ويمكن للجزيئات العضوية الأكبر أن تكوّن معقدات مع الأيونات الفلزية أيضًا، فمنظف الراديتور يتكون من عامل متراكب قابل للذوبان في الماء مثل

المركب العضوي حامض الأوكساليك، الذي يكوّن قفصًا قابلًا للذوبان في الماء حول أيونات الفلز ثم يرفعها من جدران المبرد. أما المعادن التي توجد مترسبة على جدران المبرد مثل الكالسيوم، فإنها كانت مذابة في ماء المبرد في وقت ما، ونحن عادة لا نفكر في الكالسيوم على أنه فلز، لكنه كذلك، فالكالسيوم يقع في الجانب الأيسر من الجدول الدوري مما يجعله فلزًّا، ويمكنه أن يكون معقدات تناسقية كما تفعل أيونات الفلزات الانتقالية، وعندما يكون الكالسيوم متراكبًا مع حامض الأوكساليك، يصبح الكالسيوم قابلًا للذوبان في الماء.

وجزيئات المتراكبات العضوية التي تدفع الأيونات الفلزية إلى داخل المحلول تُعرف باسم «عوامل ربط مخلبية». ولعل أهم الروابط المخلبية العضوية هي تلك التي تحدث في أجسادنا، فمعظم أيونات الفلزات الضئيلة الضرورية للحياة ترتبط بجزيئات البروتين بطريقة أو بأخرى، ويمكن اعتبار البروتين عامل ربط مخلبيًّا. ويعد الهيموجلوبين في أحد أوجهه شكلًا مخلبيًّا للحديد، فبدون متراكب تناسق الهيموجلوبين والحديد، لا يمكن نقل الأوكسجين في دمائنا. ولأن البروتين الموجود في الهيموجلوبين يَعقد نفسه حول أيون الحديد، فهو يكون جيبًا جيدًا لغاز الأوكسجين، عندئذ يحمل الهيموجلوبين المنقول في الدم هذا الأوكسجين إلى الخلايا التي تحتاجها.

وتقدم الخانة المكونة من عمودين في اليسار الأقصى من الجدول الدوري (التي تشتمل على الكالسيوم) والستة أعمدة الموجودة في اليمين الأقصى من الجدول الدوري، «العناصر النموذجية»، كما هو موضح في شكل ٢-٢-٣.

وتكون هذه العناصر في باقات متنوعة، تحوي فلزات ولا فلزات، وأيضًا بعض الغازات والسوائل والمواد الصلبة في درجة حرارة الغرفة والضغط العادي. ويوجد ضمن المجموعة النموذجية عائلات عديدة جديرة بالاعتبار من العناصر، كل فيما يختص في فرع من فروع الكيمياء.

ويحوي العمود الأول من أقصى اليسار عائلة الفلزات القلوية، التي نعرف العديد منها مثل الليثيوم (Li)، والصوديوم (Na)، والبوتاسيوم (K)، ولا توجد معظم هذه العناصر — وكذلك الحال مع باقي الفلزات النموذجية — في الحالة الفلزية الطبيعية البتة. فهي توجد في صورة متراكبات تناسقية أو أملاح. وفي الحكايات الأسطورية التي كانت تُروى عن صحراء «ديث فالي» Death Valley في كاليفورنيا، غالبًا ما كانت هناك إحدى الشخصيات تُسمى القِلي «سام»

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Act	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	•	•	•						

*Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
†Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

شكل ٢-٢-٣: رسمًا توضيحيًّا للعناصر النموذجية.

Alkali Sam أو القِلي «بيتي» Alkali Pete أو القِلي «العجوز» old Alkali، وهو اسم مأخوذ عن أملاح الصحراء المحيطة بهذه الشخصية الملحية.

ويوجد كل من الصوديوم والبوتاسيوم في كل مكان في المعادن واليابسة، وفي مسطحات المياه الطبيعية أيضًا، وقد أدى تواجدهما في مياه المحيطات إلى اندماجهما في الكائنات الحية التي نشأت هناك. وفي هذه الأيام، يرتبط الاعتناء بالصحة بتركيزات أيونات الصوديوم العالية في الجسم، لكن التأكيد هنا هو على «التركيز». فالأمر الذي يتسبب في حدوث مشكلة هو في المقام الأول غياب الماء وليس وفرة الصوديوم. فقد اتجهنا في ثقافتنا إلى إضافة الصوديوم والابتعاد عن الماء، وهو ما يعد مزيجًا يضعف أحده أركان الآخر، فهو رفض مؤسف لأبسط فهم للمحلول الملحي (إذ يتكون من ماء وملح) كي نخل بالتوازن بهذه الطريقة.

ويحوي العمود الثاني من جهة اليسار فلزات الأتربة القلوية، التي هي البريليوم والماغنسيوم والكالسيوم والأسترونتيوم والباريوم والراديوم (على التوالي Be، Mg، Ca، Sr، Ba، Ra). ويوجد الماغنسيوم والكالسيوم في كل مكان، كما تحتاجهما أجسامنا الملحية والأجسام الملحية للمخلوقات الأخرى، ويعد الكالسيوم عنصرًا حيويًّا للعظام والأسنان والأصداف والهياكل الخارجية.

ويلعب الكالسيوم دورًا حيويًّا في العمليات التي تقوم بها عضلاتنا وكذلك في التواصل الذي يجري فيما بين الخلايا. ولأن عنصر الأسترونتيوم يوجد في هذه العائلة، يمكن أن يمتص الجسم الأسترونتيوم الإشعاعي النشاط، الذي هو ناتج انشطار تفاعلات ذرية معينة، ويستخدمه كما لو كان كالسيوم. ويوجد الراديوم، وهو عنصر إشعاعي أيضًا، في هذه العائلة.

أما عن العمود الثالث والرابع في المجموعة النموذجية، فهما يقعان أعلى الجهة اليمنى من الجدول الدوري، وهي المجموعة التي يمكن وصفها على أنها معادن «أشباه الموصلات». فعناصر هذه المجموعة تعمل كأشباه موصلات جيدة بسبب موقعها المتميز في الجدول الدوري. فهي تقع على مقربة كافية من الفلزات الانتقالية حتى تعمل كموصلات بدرجة ما مثل الفلزات الانتقالية، غير أنه، بإمكانها أيضًا أن تكون روابط تساهمية شأنها في ذلك شأن المواد الأخرى التي تقع في الجهة اليمنى من الجدول الدوري. وتستخدم مخاليط القصدير والرصاص والجاليوم والإنديوم والألمنيوم (ورموزها على التوالي كالآتي: Sn، Pb، Ga، In، وAl) لصنع المواد الشبه موصلة التي تتمتع بمجال واسع من الخصائص. ويتفرد الجاليوم بأنه معدن صلب يذوب عند درجة حرارة جسم الإنسان، وعليه يتحول إلى سائل بمجرد إمساكه باليد. أما الألمنيوم، كما رأينا، فهو أحد أكثر العناصر شيوعًا في القشرة الأرضية، غير أنه لم يكن يُستخدم على نطاق واسع كمادة معدنية حتى أوائل القرن العشرين، لأن الألمنيوم عالي التفاعلية/النشاط. وقبل أن يُحسن جيدًا استغلال الألمنيوم، كان يتعين أن توجد طريقة لاستخراج الفلز من الملح. ولم تنبع أهمية إعادة تصنيع فلز الألمنيوم من ندرته، لكن كم من الطاقة والمواد التي يتعين أن تنفد من أجل استخراجه من الصخور وتنقيته.

ونجد في العناصر النموذجية الخانة التي تحوي الكربون والنيتروجين والأوكسجين والفوسفور والكبريت، وهي العناصر التي تكون أساس الحياة إلى جانب الهيدروجين. ولكننا أطلقنا في الفصل السابق على كيمياء مركبات الكربون والهيدروجين، أو الهيدروكربونات، «الكيمياء العضوية»، وذكرنا أننا سوف نتناول الكيمياء العضوية والكيمياء غير العضوية كموضوعات منفصلة. فهل يُسمح لنا الآن أن نشطب هذه الأسطر وأن نضم عناصر الكيمياء العضوية إلى عناصر الكيمياء غير العضوية ؟ لن يُسمح لنا فحسب، بل إنه يجب علينا

أيضًا، فليس الكيميائي هو الذي شطب الأسطر، بل الطبيعة نفسها؛ ففي عالمنا المتكافل والمتعايش، لا يوجد تمييز مطلق بين حفريات الحيوانات والأرض، غير أننا قد نسعى لفرض أحدهما من أجل راحة الكيميائي. ولا يوجد مكان أثبت فيه هذا التكافل وجوده بطريقة لافتة للنظر أكثر من ذلك الذي في دورات الكيمياء العضوية والكيمياء غير العضوية، حيث تتناوب الحياة استخدام عناصر مثل الكربون والنيتروجين، اللذين يعودان إلى الأرض ثم إلى الهواء، ثم يُعاد استخدامهما مرة أخرى مرة أخرى لكي يعززا وجود الحياة.

في دورة النيتروجين، يتفاعل النيتروجين N_2 غير العضوي الموجود في الغلاف الجوي، الذي يكون مادة غير عضوية، مع الأوكسجين O_2 غير العضوي الموجود في الغلاف الجوي، في تفاعل يتسبب فيه البرق. مكونًا أكاسيد النيتروجين وهي: NO، NO_2، N_2O_4، التي تذوب في ماء المطر مما يجعلها في متناول نوع معين من البكتريا التي توجد في الأرض. ويمكن لهذه البكتريا أن تستخدمها كي تصنع جزيئات النيتروجين-والكربون-والأوكسجين-والهيدروجين العضوية التي تُعرف باسم الأحماض الأمينية. وحينئذ تتلقى النباتات والحيوانات المركبات العضوية التي تحوي النيتروجين الذي كونته البكتريا، وتجري لها عمليات أيض، ثم تُخرجها، وعندئذ تعيدها مرة أخرى إلى الدورة كمركبات عضوية وغير عضوية وأملاح. وقد استغل الكاتب إدجار آلان بو في قصته القصيرة Cask of Amontillado، وجود أملاح النترات ليشير إلى الموت وتحلل الجسد.[١]

«فتعجبت قائلًا: النترات! انظر إنها تزداد، إنها تتدلى كالطحالب التي تغشى سطح المقابر، نحن الآن تحت سطح قاع النهر، وقطرات الندى تسيل بين العظام.»

ولكي تكتمل الدورة، تتغذى حشرة بكتيرية أخرى تعيش في ظروف لا هوائية (أي بدون الأوكسجين) على المركبات المتعفنة التي تحوي النيتروجين ثم تعيد غاز النيتروجين N_2 إلى الهواء.

وبالمثل يمر الكربون عبر دورة من هذا التعايش العضوي وغير العضوي؛ إذ يبدأ الكربون (C) في شكل ثاني أكسيد الكربون غير العضوي في الهواء، ثم يُعدل من خلال عملية البناء الضوئي إلى سكريات في النباتات. وهذه السكريات — التي تهضمها الحيوانات والنباتات والبكتريا وتخرجها — تعود

مرة أخرى ثاني أكسيد الكربون للمشاركة في دورة أخرى. وثمة عنصر آخر مصاحب للكربون ويليه مباشرة في الجدول الدوري هو السليكون، ويمكن للسليكون (Si) أن يكوّن أيضًا سلاسل طويلة من نوى السليكون المترابطة، كما يمكنه أيضًا أن يتخذ الشكل الرباعي الأوجه مثل الكربون، غير أنه لا يمكنه أن يكوّن بسهولة الروابط الثنائية والثلاثية التي يكوّنها الكربون، من ثم لا يملك السليكون البراعة اللازمة لهذا الشكل المعقد من الحياة، مع أن بعض من كتاب الخيال العلمي تناولوه تناولًا مخالفًا تمامًا، ولا يزال السليكون يشكل أساس الكوارتز والأحجار الكريمة والزجاج التي تسهم في جمال الحياة.

أما عن باقي عناصر المجموعة النموذجية في الجهة اليمنى من الجدول الدوري، فأود أن أكرر أنه من الأفضل أن يجري تناولها كعائلات، لكن هذه المرة كعائلات أحادية الأعمدة. وتُسمى العناصر الموجودة في العمود الذي يحتوي على الفلور (F)، التي هي الكلور (Cl)، والبروم (Br)، واليود (I)، «عائلة الهالوجينات»، كما في المصباح الهالوجيني. يوجد في المصباح الهالوجيني غاز الهالوجين في الحالة الغازية (أكيد غاز في الحالة الغازية) في انتفاخ صغير بداخل المصباح (يمكنك أن تراه إذا نظرت عن كثب). عندما يسخن سلك التنجستين، يتطاير جزء صغير من سطحه، والغرض من وجود غاز الهالوجين هو حفظ السلك من التطاير كلية. فعندما تتطاير ذرات التنجستين من على السطح، فإنها تصطدم بالغاز فتعود مرة أخرى إلى السطح، وتزيد إعادة الوضع تلك من عمر السلك بدرجة ملحوظة، وتوجد الهالوجينات أيضًا في الطبيعة بغزارة، وخاصة في المحيطات وفي المعادن، وأكرر مرة أخرى في الكائنات الحية. ويعد اليود أحد العناصر الضرورية في جسم الإنسان، فهو ضروري للوظيفة التي تقوم بها الغدة الدرقية، لهذا يُضيف مصنعو ملح الطعام اليود إلى ملح الطعام.

وفي أقصى اليمين من الجدول الدوري تقع الغازات النبيلة — التي هي الهليوم والنيون والأرجون والكربتون والزينون والرادون. وتكون هذه العناصر كما أشرنا من قبل غاية في الخمول، ولهذا السبب، نقدم لأطفالنا بالونات مليئة بالهليوم دون أن نقلق بشأن الانفجارات (ولا يجب أن نعطي هذه البالونات للرضع، ليس بسبب الهليوم ولكن بسبب المادة المصنوع منها البالون نفسه). ويشتهر الرادون باعتباره مصدرًا للتعرض الإشعاعي المكثف

لأنه غاز نبيل — فهو خامل وغاز في الوقت ذاته — ويمكنه أن يتخلل التربة وينفذ إلى المنازل سيئة التهوية. ومع أن الرادون خامل كيميائيًّا، فإنه يمكنه أن يتحمل التحلل الإشعاعي، وإذا استنشق فإن الجسيمات النافذة يمكنها أن تدمر أنسجة الرئتين.

ويقع الرادون في الجهة السفلى من الجدول الدوري، شأنه في ذلك شأن العناصر المشعة كافة تقريبًا. وللأسف، تستحضر كلمة «إشعاعي» للذهن صور القنابل والأمراض والكوارث والدمار، ولكن على المستوى السلمي، يمكننا أن نقر بأن النشاط الإشعاعي أمدنا بأشعة X، مما يعني تقنية التصوير العالية للكشف عن الأمراض وعلاجها علاجًا فعالًا وإيقاف زحفها، لكن على مستوى المشاعر، فإننا تأقلمنا على أن نتفاعل سلبيًّا مع الأشياء المرتبطة بالنشاط الإشعاعي كافة. غير أن الخطر الناجم عن المواد الكيميائية هو نسبي دائمًا — فالكثير من الأسبرين يمكن أن يكون مميتًا مثلما يكون الكثير من الماء مميتًا إذا كنت لا تجيد العوم — وكذا الحال مع المواد الكيمائية الإشعاعية. ومع أنه ينبغي أن يُعامل النشاط الإشعاعي والعناصر المنتجة له بحرص شديد، فإنه إذا استخدم بطريقة مناسبة يمكن التحكم فيه والسيطرة عليه.

وتخضع الكيمياء الإشعاعية أو كيمياء العناصر المشعة للسيطرة عن طريق نفس النوع من الكيمياء التناسقية التي تخضع لها العناصر الانتقالية، وأحد المخاوف التي تساورنا بشأن عدم الانتشار النووي هي أن كيمياء اليورانيوم والبلوتنيوم هي بالفعل كيمياء غير عضوية صريحة، فمعظم العناصر المشعة توجد في مجموعة يُطلق عليها «العناصر الأرضية النادرة» (التي تقع في هذين الصفين المنفصلين أسفل الجدول الدوري)، مع أنه توجد عناصر ذات نظائر مشعة منتشرة في كل أنحاء الجدول الدوري. وكما لاحظنا من قبل، النظائر هي ذرات لعناصر لا تختلف إلا في عدد النيترونات، فلها نفس العدد من البروتونات ولكنها تختلف في عدد النيترونات. وتمتلك بعض النظائر عددًا غير مستقر من البروتونات والنيترونات. وتتناثر هذه النظائر جزيئيًّا في محاولة للوصول إلى حالة الاستقرار، إذ تطلق بعض الجسيمات وقدرًا كبيرًا من الطاقة أثناء ذلك.

وثمة نظير مشع للكربون وكذلك للبوتاسيوم، ومن ثم يكون لدى أي شيء حي — أو أي شيء كان حيًّا من ذي قبل أو يحوي شيئًا كان حيًّا في وقت ما — قدر ما من الإشعاعية، ويستخدم الكربون المشع في «التأريخ

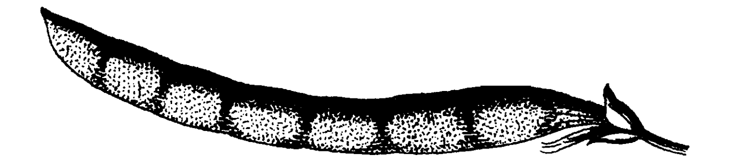
بالكربون». والنظير المشع الذي يجعل التأريخ باستخدام الكربون ممكنًا يُسمى كربون-١٤، لأن عدد البروتونات والنيترونات في النوى يبلغ أربعة عشر (إذ يحوي ستة بروتونات لأنه كربون وثمان نيترونات لهذا النظير الكربوني). وتنتج الأشعة الكونية الكربون-١٤ بلا انقطاع التي تُطلقه في الطبقة العليا من الغلاف الجوي. ولما كانت النباتات تتعامل مع الكربون-١٤ على أنه ثاني أكسيد الكربون والحيوانات التي تأكل هذه النباتات تستهلكه باعتباره سكرًا ونشا، فإنه أصبح منتشرًا بشكل منتظم في كل الكائنات الحية، وظل عند مستوى ثابت بدرجة لافتة للنظر. أو بكلمات أخرى هو موجود طالما كانت الكائنات الحية موجودة. وبمجرد أن يتوقف الكائن الحي عن الحياة، فهو لا يعود يمتص الكربون-١٤، وعندئذ يبدأ كربون-١٤ الموجود في الكائن الميت في التحول إلى كربون-١٢. وعند مقارنة كمية الكربون-١٤ الموجودة في المادة الميتة بالكمية المتوقع وجودها في المادة الحية، يمكن للعلماء أن يقدروا عمر الكائن الميت أي منذ متى فارق هذا الكائن الحياة تقريبًا. وتنحصر هذه التقنية في تحديد عمر الأشياء الصناعية المشتقة من النباتات أو الحيوانات التي يقل عمرها عن خمسين ألف عامًا، ومع ذلك فلا يزال هذا أمرًا مذهلًا؛ فقد استخدمت تقنية التأريخ باستخدام الكربون في تحديد عمر لفائف الورق البردي التي وُجدت عند البحر الميت، وبلغ عمرها ألفي عام.[٢]

ونحن نقابل أيضًا العناصر المشعة كل يوم في الأجهزة التي عادة ما تُثبت بهدوء وبطريقة غير واضحة في أسقف المطابخ والقاعات: أجهزة إنذار الحريق. أحقًّا، تكون أجهزة إنذار الحريق مشعة؟ بلى، تكون هي مشعة، فالعنصر النشط في أجهزة إنذار الحريق مصدر مشع، فهو عينة من عنصر الأميريشيوم (Am)، الذي يرسل تيارًا من الأشعة إلى الكاشف، فينطلق جهاز الإنذار عندما يعوق دخان هذا التيار — أو حتى بخار — ولهذا السبب تثير أجهزة إنذار الحريق الموجودة في المطابخ الإزعاج، إذ ينطلق الإنذار حتى بدون وجود حريق. غير أننا لا نستطيع أن ننكر أن أجهزة إنذار الحريق قد أنقذت أرواح الكثيرين، من ثم لا تنصاع للفكرة التي تساورك كي تتخلص من جهاز إنذار الحريق المزعج وتستبدله بوسيلة جيدة للتهوية.

وثمة استخدام آخر للأشعة المنطلقة من العناصر المشعة، الذي قد يكون أكثر إثارة للجدل من أجهزة إنذار الحريق، وهو استخدام الأشعة لقتل البكتريا

في الطعام. تعمل هذه الطريقة جيدًا، فهي تعمل على إطالة فترة تخزين العديد من الأطعمة، غير أن الكثيرين يرفضون استخدام طعام عُرض للإشعاع، ربما خوفًا من التلوث.

ولا ينبغي أن تنتابنا المخاوف بشأن التلوث؛ فالأغذية المعرضة للإشعاع لا تتعرض للمصدر الإشعاعي مباشرة. لكن ثمة أفكار أخرى مثيرة لرفض هذه الأطعمة، بعضها معني بأن الإشعاع قد يسبب حدوث تفاعلات في الطعام نفسه مما قد يكون مركبات عادة ما لا تكون موجودة في الطعام. والبعض يقولون إننا ينبغي أن نقلق بشأن أي شيء يقتل فعليًّا كل البكتريا الموجودة في الطعام. لماذا؟ ذلك لأن البكتريا لا تعد أساسًا شيئًا سيئًا، فهي جزء من النظام الكبير. فالطبيعة هي حافظ جيد للحياة، بما فيها حياة البكتريا، فلا يوجد تحيز خاص لحياة الإنسان. من ثم إذا تمكننا من تدمير بعض البكتريا، مما قد يسبب وجود فجوة ما، وقد ينشأ نوع جديد من البكتريا لسد هذه الفجوة، ولا يمكننا أن نتنبأ ما إذا كان هذا النوع الجديد من البكتريا هو ضار للإنسان أو غير ضار. ويعد هذا التعديل ممكنًا من جانب الطبيعة، لأن الأنظمة الطبيعية غير جامدة، بمعنى أنها قابلة للتغيير. ونحن نميل لأن نفكر في عالمنا في ضوء الاستمرارية والبقاء لأنه عادة ما يحدث التغيير ببطء شديد. غير أن الأنظمة الحيوية تستجيب للضغوط، كما هو الحال مع التفاعلات الكيميائية التي تنشأ عنها الأنظمة الحيوية. ونتناول في موضوعنا التالي المزيد من المناقشات حول الجزيئات الكيمياء الحيوية.



تجربة الكيمياء الحيوية: دهون، وانتفاخ البطن، وحساء البقوليات

«كيف لك بحق السماء أن تعزم على شرح ظاهرة بيولوجية مهمة مثل ظاهرة الحب الأول في ضوء الكيمياء والفيزياء؟»

ألبرت أينشتاين ١٩٤٠

من إحدى الحقائق الموجودة في حياتنا هي أننا نحتاج أن نتناول طعامًا صحيًّا، والطعام الصحي يمدنا بالغازات. وتكمن المشكلة في أن النشويات الموجودة في الخضروات العشبية لا تُهضم كلية في الأمعاء الدقيقة للإنسان قبل أن تنتقل إلى الأمعاء الغليظة. ومع ذلك، فلا يمثل هذا القصور أية مشكلة للطبيعة. فمن إحدى أروع أنظمة التكافل التي تعشقها الطبيعة هي مستعمرات البكتريا التي يُطلق عليها صراحة «حيوانات الأمعاء»، التي تعيش في أمعائنا. وكما ذكرنا في مناقشتنا لخصائص الحالة الغازية فإن هذه البكتريا لديها الأنزيمات اللازمة لهضم المأكولات العشبية وتتغذى على البقايا بمنتهى الرضا والسعادة. غير أنها تنتج الغازات في غضون هذه العملية. وتنتج أيضًا عملية الهضم

الكبريتيد، الذي هو مواد كيميائية عضوية تحتوي على الكبريت والتي ترتبط بانتفاخ البطن الغازي، فرائحة البيض الفاسد هذه تنتجها البكتريا التي تؤدي نفس الدور في إتلاف البيض. وتأتي رائحة انتفاخ البطن من هذا الكبريتيد المحمل مع الغاز، ولهذا السبب في بعض الأوقات تكون رائحة الغاز القادم من الأمعاء أكثر نفاذية من أوقات أخرى. على أن مشكلة الرائحة هي مشكلة مصطنعة تفرضها الأعراف الاجتماعية، لكن تنفيث الغاز الذي تسببه غزارة غازات الأمعاء يمكن صرف الأنظار عنه في أفضل الأحوال وإضعافه في أسوأ الأحوال، من ثم توجد أسباب لتجنب الكميات المفرطة من الغازات، إحداها بالطبع هي عدم تناول الأطعمة التي تسبب الغازات مثل الخضراوات غير المطهوة والبقوليات. غير أن معظم هذه الأطعمة تكون مفيدة وتعد مصادر غنية بالبروتينات والفيتامينات والخشائن الضرورية، ولا ينبغي تجنبها تمامًا. وإن كان لديك رغبة، يمكنك أن تتناول أنزيم ألفا جلاكتوزايداز قبل الأكل الذي يساعد في هضم النشويات قبل أن تقتاتها البكتريا، وفي التجربة التالية سنرى هذه الأنزيمات وهي تؤدي وظيفتها.

ارتد نظارة الأمان الواقية، جهز محلولين باستخدام أقل من ربع ملعقة شاي (١ مليلتر) من النشا في كوب (٢٤٠ مليلتر) ماء. افرك قرصًا من الأقراص المساعدة على الهضم التي يجري تناولها قبل الوجبات للتقليل من غازات الأمعاء. ينبغي أن تحوي هذه الأقراص أنزيم ألفا جلاكتوزايدز الذي يهضم النشا. تفقد نشرة الدواء للتأكد من احتوائه على هذا الأنزيم. أضف القرص المفروك إلى أحد الكوبين المحتويين على محلول دقيق الذرة النشوي. اترك كلا الكوبين نحو ساعة ثم أضف إلى كل منهما قطرة من صبغة اليود. واليود هو دليل معروف للنشا لأن اليود يكون مع النشا مركبًا ذا لون أزرق جميل. ويتحول لون محلول النشا الذي لا يحوي الأنزيم إلى اللون البنفسجي المائل للزرقة دليلًا على وجود النشا. أما المحلول المُضاف إليه الأنزيم فينبغي أن يظل محتفظًا باللون البني الخاص بصبغة اليود. وإذا وُجد هناك لون أزرق، فإنه سيكون ضعيفًا جدًّا. تبرهن هذه التجربة أن النشا تحللت.

وتخضع الأنزيمات والنشويات لمظلة الكيمياء الحيوية، المملكة التي سننتقل إليها الآن.



الفصل الثالث

الكيان الكيميائي في مقابلة مع كيمياء الجسم

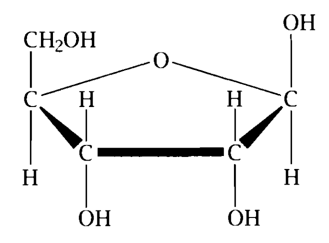
«لأنه لا النترات ولا الفوسفات ولا امتداد الألياف في القطن هي الأرض، فإنه لا الكربون ولا الملح ولا الماء ولا الكالسيوم هم الإنسان. فالإنسان هو كل ذلك معًا، بل هو أكثر من ذلك كله.[٢]»

جون شتاينبك في روايته «Grapes of Wrath» ١٩٤٠

«لدي يا بن كلمة واحدة فحسب، كلمة ليس إلا ...
ما هي؟
اللدائن.»

كالدر ويلينجهام وباك هنري في سيناريو فيلم «The Graduate» المأخوذ عن رواية تحمل نفس الاسم للكاتب تشارلز ويب ١٩٦٠

ما هي علاقة اللدائن بالبشر؟ كما هو جلي للعيان، فالعلاقة كبيرة جدًا. تُصنع المواد البلاستيكية عن طريق البلمرة، وهي العملية التي ترتبط من خلالها الجزيئات البسيطة معًا في سلاسل طويلة ممتدة من آلاف الجزيئات. ولا توجد بوليمرات أبرع من الخلايا الحية.



شكل ٢-٣-١: السكاريد: وحدة بناء الكربوهيدرات.

والمواد التي تتكون منها أجسامنا، ابتداء من الجلد وحتى الشعر ومن اللوزتين إلى ظفر أصبع القدم، هي مواد بوليمرية لينة ومستمرة. وكما أشرنا في مناقشتنا للكيمياء العضوية فإن نجاح أشكال الحياة العضوية يتوقف على قدرة الكربون على تكوين سلاسل طويلة، وعندما تتكرر الوحدات المكونة من هذه السلاسل الطويلة يتكون ما يُعرف بالبوليمرات. وتتألف أجسامنا — شأنها في ذلك شأن جسم أي شخص وأي شيء آخر ابتداء من الأميبا فصاعدًا — من سلاسل طويلة من الوحدات الأساسية المتكررة — من الكربوهيدرات والدهون والأحماض الأمينية والنيوكليوتيدات — أي البوليمرات التي نُصنع منها.

ولنبدأ بالكربوهيدرات والبوليمرات التي تكونها، ما هي الكربوهيدرات؟ نحن نعلم أن الكربوهيدرات هي الشيء الذي يجب أن يتجنبه أولئك الذي يتبعون أنظمة حمية معينة، لكن ما هي الكربوهيدرات؟ لقد اعتقد في البداية أن الكربوهيدرات هي كربون محاط بالماء (ومن ثم أُطلق عليها كربوهيدرات)، بدرجة ما، مثلما تتكون متراكبات التناسق غير العضوية من فلز محاط بالليجندات. لكننا نعرف الآن أن الوحدة الأساسية في الكربوهيدرات هي السكاريد (مركب سكري)، وهو جزيء كربون حلقي الشكل، كما هو موضح في شكل ٢-٣-١.

والكربوهيدرات هي سكريات — الجلوكوز والفركتوز وجلاكتوز. والسكروز المعتاد هو ثنائي السكاريد، أي جزيئان سكاريد مرتبطان معًا. وعندما يرتبط أكثر من جزيئين سكاريد يتكون عديد السكاريد. وتكون السلسلة الطويلة من عديد السكاريد المواد الأساسية للنشا التي هي السليلوز والجليكوجين.

وكما هو معروف جيدًا لأولئك الذين يتبعون الحميات الغذائية والمعنيين بالأمور الصحية، يقوم الجسم بأيض السكريات لإطلاق الطاقة وعندما يوجد المزيد من السكر، يخزنه الجسم لاستخدامه فيما بعد. وتخزن الحيوانات السكريات كبوليمرات الجلوكوز التي يُطلق عليها «الجليكوجين». أما النباتات فتصنع بوليمر من السكر يختلف اختلافًا طفيفًا بغرض التخزين وهذا هو ما نطلق عليه النشا. وتستخدم النباتات أيضًا سلاسل طويلة من الكربوهيدرات لعمل السليلوز، الذي تستخدمه لأغراض بنائية وليس لأغراض تخزينية. ولا يستطيع جسم الإنسان أن يستعيد السكاريد من السليلوز، وفي بعض الأحيان تُدمج الكربوهيدرات عسرة الهضم في الطعام كي تقلل عدد السعرات الحرارية لكل قطعة.

ويخزن الجسم أيضًا بعض أنواع الشحوم أو الدهون لعملية الأيض النهائية، والدهون هي نوع آخر من الطعام يُفرز بعيدًا لكي يُتَجَنّب بسبب الآثار السلبية الناجمة عن زيادة الاستهلاك. لكن يحتاج الجسم الدهون بلا أدنى شك، ولاسيما أجسام الأطفال التي تكون في مرحلة نمو، فعلى سبيل المثال تحتاج فيتامينات أ، ك، د للدهون لكي تُمتص، من ثم يحتاج الحد من الدهون أن يُضبط حقًّا عن طريق معرفة أي أنواع الدهون ينبغي الحد منها وأيها ضروري. وثمة أنواع عديدة من الدهون تتمتع بوظائف مختلفة. وثمة نوعان أساسيان من الدهون هما الأحماض الدهنية والسترويدات، والتركيب الأساسي لهذين النوعين مختلف تمامًا، كما هو موضح في شكل ٢-٣-٢، غير أنه قد يبدو أمرًا مثيرًا للفضول أن الكيميائيين يصنفوهما معًا.

ويوضع هذان المركبان معًا في مجموعة واحدة، إذ يتمتعان بخاصية مشتركة وهي قابلية الذوبان في السوائل الزيتية القوام، ففي حالة الأحماض الأمينية، يوجد طرف واحد قابل للذوبان في الزيت والطرف الآخر قابل للذوبان في الماء، وهو غموض يتضح أنه مفيد بدرجة مذهلة، كما سنرى.

الأحماض الدهنية هي سلاسل كربون طويلة تنتهي بمجموعة حمض عضوي COOH. وتخزن هذه الدهون في تشكيلاتها المتنوعة الطاقة (وهي المكون الأساسي لكل خلايا الدهون التي تعتبر مصدر الإزعاج) وكذلك تعمل على حماية وعزل الأعضاء الداخلية. وهي تعمل كمادة عازلة على الألياف العصبية والمكون الأساسي لجدار الخلية. ويمكن إطلاق أحد هذه الأحماض

طرف قابل للذوبان في الماء

طرف قابل للذوبان في الزيت

الأحماض الدهنية

الستيرويدات

شكل ٢-٣-٢: فئتين أساسيتين من الشحوم هما الستيرويدات والأحماض الدهنية.

الدهنية الطويلة السلسلة، حامض الأركيدونيك، عندما تُجرح إحدى الخلايا من جراء قطع أو حدوث ارتطام. ويتحول هذا الحامض إلى مركب لإثارة الخلايا العصبية (الذي هو الألم)، يدفع الدم إلى الموقع (وهذا هو الالتهاب)، ويرفع درجة حرارة الجسم كي يُسرع من عمليات الإصلاح التي يُجريها الجسم (وهو ما يُعرف بالحمى). وأن يحدث كل هذا، فهو أمر جدير بالملاحظة بما يكفي، لكن عندما تُجرح في المرة القادمة، لاحظ كيف يحدث هذا سريعًا، إنه يحدث سريعًا لكن ليس عفويًا، إن حدوث التفاعلات الكيميائية يستغرق وقتًا، لكن حدوث كل ردود الأفعال تلك داخل الجسم لدى تعرضك للجرح يحدث في وقت قصير بدرجة مذهلة.

والستيرويدات هي دهون لها نفس التركيب الحلقي الأساسي الموضح في شكل ٢-٣-٢. وتشوب الستيرويدات سمعة سيئة في حد ذاتها، لكن أود أن أكرر مرة أخيرة أنها تقوم بعملها، ولا يمكن الاستغناء عنها كلية، وتمثل الستيرويدات مكونات غشاء الخلية، وعازل للخلايا العصبية وأساس الهورمونات الستيرويدية.

والكولسترول هو ستيرويد، وكما يعرف الكافة فإن الإفراط في تناول الكولسترول ضار، لكن يستحيل أن يجري التخلص من الكولسترول كلية من النظام الغذائي، فالجسم نفسه يصنع الكولسترول لأنه يحتاج الكولسترول ليقوم بعمليات ضرورية كثيرة. إذن ما مشكلة الكولسترول؟ تظهر المشكلة

عندما تتواجد كميات كبيرة من الكولسترول في الجسم، إذ يمكن أن تتراكم على جدران الأوعية الدموية وتسبب ضيقًا في الأوعية حيثما ينبغي أن يتدفق الدم بحرية، وقد ذكرنا في مناقشتنا للكيمياء العضوية أن المركبات المشبعة هي تلك المركبات التي تكون جميع روابطها أحادية C–C، أي أنه لا توجد فيها روابط ثنائية C=C، أو ثلاثية C≡C في الكربون وروابطه. وقد اتضح أن الدهون المشبعة هي أيضًا الدهون الصلبة مثل دهن الخنزير أو الدهن النباتي الصلب، وتدوم الدهون المشبعة لفترات طويلة دون أن تفسد، من ثم يتعمد مصنعو السمن النباتي أن يهدرجوا منتجاتهم — بمعنى أن يكسروا الروابط الثنائية والثلاثية عن طريق إضافة الهيدروجين — حتى يحولوا دون تلفها. غير أنه أُدرك حديثًا أن الدهون المشبعة يمكنها أن تثير الجسم لتخليق الكولسترول ومن ثم تحول دون القضاء عليه. ومن ناحية أخرى، تعزز الدهون غير المشبعة القضاء على الكولسترول.[1] ومع ذلك فالمشكلة لا تكمن بأكملها في كمية الكولسترول.

وتتراكم الرواسب غير المرغوب فيها من الكولسترول لأن الكولسترول يحتاج المساعدة حتى يُنقل في كل مكان في مجرى الدم، وذلك لكونه دهنًا لا يحظى بطرف قابل للذوبان في الماء. ويُطلق على الناقلات دهون منخفضة الكثافة، وهي تشكل فقاعات حول الكولسترول، وعلى غرار بقايا الصابون المذاب، تستخدم أطرافها الهيدروكربونية الزيتية القوام كي تربط ما بين الكولسترول وأطرافه الحامضية العضوية وسائل الدم الذي قوامه كالماء. ويساعد تركيب الدهون المنخفضة الكثافة (الذي يُشار إليها بـ LDL) (دهون الكولسترول) في أن ترسب حملها من الكولسترول حينما تصل إلى الخلايا التي تكون في حاجة إليها، ولكن للأسف يسهل تركيبها أيضًا تفريغ الزائد من الكولسترول في جدران الأوعية الدموية عندما تأخذ الخلايا كل كفايتها، وعندما نتحدث عن «الكولسترول السيئ»، فإن ما نعنيه حقًّا هو مركب الكولسترول والدهون المنخفضة الكثافة. وينبغي أن يتجنب الناس التعرض للإصابة بنسب كولسترول عالية في الدم، غير أنهم يجب أن يتجنبوا أيضًا الدهون المشبعة لأن هذه الدهون تسهم في تكوين منتجات الدهون المنخفضة الكثافة.

غير أنه يوجد تركيب آخر من الدهون يُسمى الدهون المرتفعة الكثافة (HDL) تغسل الزائد من الكولسترول من على الجدران ثم تدفعها أسفل إلى

الكبد كي تتفتت هناك. وعندما نتحدث عن «الكولسترول الجيد»، فإن ما نعنيه هو مركب الكولسترول والدهون المرتفعة الكثافة. من ثم قد يبدو الأمر للوهلة الأولى أنه يمكن تجنب رواسب الكولسترول عن طريق حفظ التوازن المناسب للدهون المنخفضة الكثافة في مقابل الدهون المرتفعة الكثافة، لكن الأمر أكثر تعقيدًا من هذا، إذ يجب أن تُخفض أيضًا كل أنواع الدهون على وجه العموم، إذ تثير الدهون الزائدة إنتاج الكولسترول بواسطة الكبد، والشخص الذي يتبع نظامًا غذائيًّا شديدًا يمكنه بالفعل أن يستعيد امتصاص بعض من الكولسترول الذي كان قد انتقل بالفعل إلى الكبد، وعليه حتى أنظمة الحمية القاسية لها أضرارها أيضًا.[٢] لذا مفتاح النظام الغذائي الصحي هو الذي نعرفه جميعًا منذ وقت طويل، ألا وهو الاتزان، إذ يجب أن نتناول بعض الفاكهة وبعض الخضروات وبعض الكربوهيدرات وبعض الدهون وبعض البروتينات.

ما البروتينات؟ هي بالطبع بوليمرات؛ هي بوليمرات ذات وحدات أساسية تُدعى الأحماض الأمينية، والأحماض الأمينية هي جزيئات عضوية صغيرة تحتوي على مجموعة نيتروجين وحمض عضوي. ويُوضح شكل ٢-٣-٣ شكل الحامض الأميني العام. ومجموعة الحامض العضوي هي كربون مرتبط بالأوكسجين برابطة ثنائية، ومجموعة OH مرتبطة برابطة أحادية. وتُسمى مجموعة النيتروجين NH_2، مجموعة الأمينو (ومن ثم الأحماض الأمينية). وإلى جانب مجموعة الأمينوتوجد مجموعة يُشار إليها بالرمز R لترمز إلى أي المجموعة المتنوعة الأخرى التي يمكن إضافتها في هذا المكان، وبهذه الطريقة يمكن تكوين تنويعات من الأحماض الأمينية.

لاحظ أن الكربون له أربع روابط، والأحماض الأمينية يمكن أن يكون لها «يد» والأحماض الأمينية التي تتكون طبيعيًّا، لديها يد مفضلة، فإذا أُدخل جزيء ذو تشكيل خاطئ — أو حتى إذا جرى تبادل أوضاع رابطتين — يكون الجزيء غير مناسب ويمكن أن تكون النتيجة مميتة.

ويوجد ما يقرب من عشرين حمض أميني مختلف موجود طبيعيًّا في جسم الإنسان، وتكوّن بوليمرات هذه الأحماض الأمينية تركيبات البروتينات مثل أظافر الأصابع والغضاريف وكذلك الأنزيمات والهرمونات. ويمكن تصنيع بعض الأحماض الأمينية في الجسم، لكن يجب أن يأتي عدد مساو تقريبًا عن طريق الغذاء، فكل الأحماض الأمينية الضرورية توجد في البروتين الحيواني

شكل ٢-٣-٣: الأحماض الأمينية.

مثل اللحوم والبيض، غير أنها يمكن أن تُكتسب من مصادر غير حيوانية أيضًا، ولا توجد خضروات تحتوي على كل البروتينات الضرورية، لكن مادام يوجد تنوعات مختلفة كثيرة — مثل الكوسة والذرة والأرز والبقوليات وفول الصويا والمكسرات — تُستهلك، فإن حاجة الجسم من البروتين يمكن أن تُسدد.

وغير كل المواد التي تناولناها حتى الآن، فإن البروتينات هي التي تقوم بمعظم المهام. وتتضمن سلاسلها الطويلة الحامض (COOH)، والقاعدة (NH_3)، وتسمح قوى الجذب البينجزيئية بين روابط R المختلفة لسلاسل البروتين أن تنثني على نفسها في تشكيلات عديدة معقدة لكنها قابلة لإعادة التكوين. أما القوى التي تحكم البروتين في شكلها المنثني فهي نفس قوى الجذب البينجزيئية التي قبلناها من قبل ومثل هذه يمكن كسرها بسهولة. ولا تؤدي الغالبية العظمى من البروتينات النشطة بيولوجيًّا أدوارها جيدًا إلا في بيئتها الطبيعية وعندما تُشوش أو تُغير طبيعتها حتى بأبسط التغييرات، فإنها لا تعود تؤدي دورها، فعلى سبيل المثال، البروتين الموجود في البيض النيئ يمكنه أن يغير من تشكيله الوظيفي حتى بإضافة أقل قدر ممكن من الحرارة، وهو الأمر الذي تدور حوله كل أمور الطهي. والهيموجلوبين هو بروتين يضم أيونات حديد، وينتج اللون البني الذي يلون اللحم المطهو أو الفاسد عن حدوث تغير في حالة أكسدة الحديد الموجود في الهيموجلوبين، تمامًا كما رأينا عندما غيرنا خلات الحديد البنية اللون إلى المركب الأحمر بإضافة فوق أكسيد الهيدروجين.

ويستحيل أن نصف في هذه الصفحات القليلة عدد المواد التي تكونها البروتينات في الجسم وأدوارها المتعددة، لكن من الممكن أن نلقي نظرة على فئة بعينها وهي الأنزيمات التي تعمل على توصيل براعة البروتينات الفائقة.

والأنزيمات هي العوامل الحفازة للجسم، فهي تسهل حدوث التفاعلات السريعة الضرورية للحياة، (تذكر أن ثمة رسالة يجب أن تنتقل إلى مخك عندما تجرح أصبعك، وإذا لم تصل هذه الرسالة بالسرعة الكافية، فإنه يحدث تلف يتعذر إصلاحه.) وتؤدي الأنزيمات دورها التحفيزي عن طريق تركيبها ثلاثي الأبعاد، ويتمتع كل أنزيم بشكل متفرد يسمح له بالارتباط بالجزيئات المستهدفة، وقد أوضحنا إحدى الطرق التي يمكن لهذا الربط أن يسرع عن طريقها التفاعلات الكيميائية لدى تناولنا لموضوع معدلات التفاعلات الكيميائية، فعندما ترتبط مادتان متفاعلتان بإحدى الأنزيمات، فإن الأنزيم يجمعهما معًا في التقارب الأمثل حتى يتفاعلا.

وتعد الطريقة التي يستخدم بها الجسم الأنزيمات طريقة رائعة للغاية، فلا يجب أن تعمل الأنزيمات على نحو دائم إذ إنها لو كانت كذلك فسوف تحفز التفاعلات بلا انقطاع، فإذا لم تكن هناك حاجة إلى ناتج التفاعل، يجب أن تُوقف الأنزيمات عن العمل، ففي أوقات عديدة، وفي موقف أشبه برقصة البالية الرشيقة، تقوم المادة الناتجة نفسها التي ينتجها الأنزيم بإيقافه عن العمل. ويؤدي الإفراط في تكوين النواتج إلى انحراف اتجاه التفاعل، فبدلًا من أن يكون النواتج يكسرها، ويجب أن يحتفظ الجسم بتوازن حساس للمواد، سواء كان من ناحية الندرة أو الغزارة، من ثم يجب أن تعمل آلية إيقاف الأنزيمات عن العمل تمامًا مثل آلية إثارتها، ومن المدهش أن هذه الآليات تعمل معًا.

ويجب أن يُنظم أيضًا عدد البروتينات نفسه، ويعمل النظام المضطلع بإنتاج البروتينات وفقًا لمبادئ التوازن أيضًا، فعلى سبيل المثال، إذا كان الأنزيم اللازم لتكسير اللاكتوز موجودًا بصورة دائمة في مجرى الدم، فإنه كان سيجلط الدم ويعطل الأعمال، فقط في انتظار منتج خاص بالألبان كي يُستهلك. من ثم يكسر الجسم بروتينات هذه الأنزيمات ويعيد تصنيعها، مُخزنًا إياها في السائل البروتيني الموجود في الجزء الداخلي لكل خلية، وعندما يظهر اللاكتوز ثانية في مجرى الدم، فإن الخلية تُثار لإنتاج المزيد من الأنزيم للتعامل معه، ولكن كيف تنتج الخلية المزيد من الأنزيمات؟ بالطبع، عن طريق بوليمر آخر.

غير أن البوليمر الذي نتحدث عنه هذه المرة يتميز بكونه يتركب من ثلاث أنواع مختلفة من الواحدات الأساسية، وهي: قاعدة نيتروجينية، وسكر،

شكل ٢-٣-٤: ارتباط مجموعة فوسفات وسكر قاعدة نيتروجينية.

ومجموعة فوسفات، كما هو موضح في شكل ٢-٣-٤. ويكون الاتصال عن طريق مجموعة الفوسفات والسكر، وهما يرتبطان معًا كما هو موضح في شكل ٢-٣-٥، وهما يشكلان تركيبًا على شكل سقالة معقدة التركيب تلتوي وتتحول إلى مادة مضغوطة تُسمى «الحامض الريبي المنقوص الأوكسجين»، الذي يُعرف باسم الدنا DNA أو الحامض النووي، مادة الجينات والكرموزومات.

والكروموزوم، الذي هو شريط طويل من الدي. إن. إيه.، هو جزيء يحتوي على معلومات حول كيفية صناعة كل البروتينات الموجودة في الجسم، ويمثل الجين إحدى قطاعات الكروموزوم الذي يخبر عن كيفية صنع بروتين واحد بعينه، ويعمل تتابع النيكليوتيدات في الجين كقالب يُترجم في نهاية الأمر كتتابع للأحماض الأمينية في البروتين.

ويمكن النظر إلى الدي. إن. إيه. على أنه ملف مصغر يحتوي على الوصفة أو طريقة العمل. وعندما يحتاج الجسم لهرمون يذهب إلى الدنا ليتلقى التعليمات حول كيفية عمل هرمون، وعندما يحتاج إلى إحدى خلايا البشرة أو ظفر، يذهب إلى الدنا كي يحصل على وصفة للبروتينات، وعندما يكون هناك حاجة لبروتين معين — عندما يكون هناك عجز فيه أو يكون الجسم في حاجة

شكل ٢-٣-٥: قطاع من تركيب الدي. إن. إيه. يوضح الروابط التي تحدث بين النيكليوتيدات.

إلى المزيد منه — يتولد ضغط على الاتزان مما يؤدي إلى حل شفرة جزء من الدنا. وبهذه الطريقة عندما يحتاج الجسم إلى المزيد من الشعر، نحفز الخلايا لإنتاج بروتين الشعر، وعندما يحتاج الجسم إلى أنزيمات تساعد على الهضم، تُستقبل الرسالة ويُنتج المزيد، وعندما يحتاج الجسم إلى هرمون الأدرينالين، يكون الهرمون مستعدًّا، بمعدل يسمح لنا أن نقفز فوق السيارات أو نسبق الصرصار. لكن، كما أشرنا في التجربة التي بدأنا بها هذا الفصل، مع كل القدرات الهائلة التي تتمتع بها الخلية لكي تلبي حاجة الجسم من الأنزيمات،

فإن أنزيمًا واحدًا يبقى لا يستطيع جسم الإنسان أن ينتجه، إنه الأنزيم الذي يكسر البقوليات تمامًا.

والأنزيمات، مثل ذلك الأنزيم الذي استخدمناه في تجربتنا، يحكمها مبادئ علم الحركة الكيميائية — وهو يمثل إحدى الروابط العديدة التي تربط بين المبادئ الأساسية للكيمياء والكيمياء المعقدة للحياة. وتعرض دراستنا السريعة والخاطفة للكيمياء الحيوية هنا، ممزوجة بمناقشتنا السابقة للأنظمة الكيميائية الحيوية، أن كل مبادئنا الكيميائية تلعب دورًا هامًّا في الحياة، مثل التفاعلات الحمضية القاعدية، وتفاعلات الأكسدة والاختزال، والروابط الكيميائية، وقوى الجذب البينجزيئية، والتركيز، والمواد الصلبة والقابلية للذوبان، وعلم الحركة الكيميائية، وحتى تغييرات الحالة والحالة الغازية.

ويلعب الاتزان دورًا حيويًّا، وكذلك الديناميكا الحرارية التي تحكمه، وأيضًا الطاقة والأنتروبيا على السواء. وأينما وُجدت الحاجة لمركب، ينتجه الجسم، وحينما يكون هناك وفرة منه، يتوقف الجسم عن الإنتاج، ويستهلك أو يُخرج الزائد، فعندما نحتاج إلى طاقة نأكل، وجسم الكائن الحي يؤدي دوره عن طريق العرض والطلب من الاتزان الكيميائي.

وقد يبدو الأمر غريبًا حينما نفكر في الأنتروبيا في ضوء الكيمياء الحيوية لأن الأنظمة البيولوجية تكون غاية في التنظيم والترتيب، غير أن الكيمياء الحيوية تعتبر قوة هائلة على الأنظمة البيولوجية وكذلك على أي مكان في الكون. وتعطي الرسومات البيانية للخلايا الموجودة في الموسوعات انطباعات خاطئة بأن الخلايا تشبه صف منازل في مدينة أو شقة في مجمع سكني، وجميعها متكدسة معًا ومنظمة ولها نفس الشكل، غير أن نظرة واحدة عبر الميكروسكوب ستعمل على تصحيح ذلك الانطباع، فالخلايا غير منظمة حقًّا وفوضوية وكل واحدة منها لها شكلها وعاداتها الخاصة، ولا يكون غشاء الخلية صلبًا، فهو مائع ويغير شكله تباعًا بصورة دائمة، والدنا ليس مطبوعات صلبة من المعلومات، لكنه يحتوي على «الجينات القفازة»، و«الجينات المهملة»، وهي الجينات التي يمكنها أن تتحرك حول الجينات، التي يبدو أنها لا تقوم بأي دور سوى زيادة التشويش والفوضى.

لكن ثمة بعض الأسباب لتقدير كل هذه الفوضى، فهي تعني أنه لا يوجد نظامان بيولوجيان طبيعيان متطابقان تمامًا. لقد تعلمنا أن نتفهم هذا التفرد

ونحسن استغلاله في ضوء تقنيات الكيمياء التحليلية التي سنتناولها لاحقًا. والآن، تمكننا أدوات الكيمياء التحليلية من تحليل المعلومات واستخراجها من إحدى رقائق الجلد أو من نقطة اللعاب. سيفتخر بنا شارلوك هولمز.



تجربة الكيمياء التحليلية: الدليل في بصمات الأصابع

«بافتراض أن هوية الشاعر يُرمز لها بالرقم عشرة، وحتمًا سيجد الكيميائي وهو يجري تحاليله عليها أنها مكونة من جزء واحد يتعلق بالمصلحة الذاتية. فالتسعة أجزاء من احترام الذات لدى «جرينوار» التي زادت وتعاظمت نتيجة عبير الإعجاب الشعبي قد أضحت في حالة تضخم مذهلة، طامسة ذلك الجزيء الدقيق جدًّا من المصلحة الذاتية.»

فيكتور هوجو في رواية «أحدب نوتردام» ١٩٢٠

لقد ثبت أن دليل الدنا ذو قيمة عالية، وعلى قدر مرتفع من الدقة، ويمكن التعويل عليه، غير أنه لا يكون متاحًا دائمًا، لكن بصمات الأصابع يسهل رؤيتها ويجري السعي إليها في كل موقع جريمة، ولكي نرى كيف يمكن جعل البصمات الخفية مرئية، ارتد نظارة الأمان الواقية وأجرِ التجربة الآتية:

خذ بعض رقائق الألمنيوم واصنع شكل مربع صغير في طاسة أو كفة ميزان. خذ وعاء طعام بلاستيكي سعته نحو واحد جالون (إذا استخدمت

وعاء زبدة كبيرة، سيفي بالغرض تمامًا). اغسل الوعاء وغطاءه ثم جففهما. أحضر برطمانًا صغيرًا، وليكن زجاجة دواء فارغة أو كوبًا أملس أو أي وعاء شفاف صغير يمكن أن يدخل في وعاء الزبدة، اغسله كله أولًا جيدًا من الداخل والخارج، ثم تناوله باستخدام قفاز أو منشفة لتجنب أي بصمات أصابع غير مدبرة. أحضر ملقاطًا نظيفًا، أو كماشة نظيفة، والآن أنت قد حصلت على كل العدة المجمعة اللازمة لغرفة تحميض بصمات الأصابع.

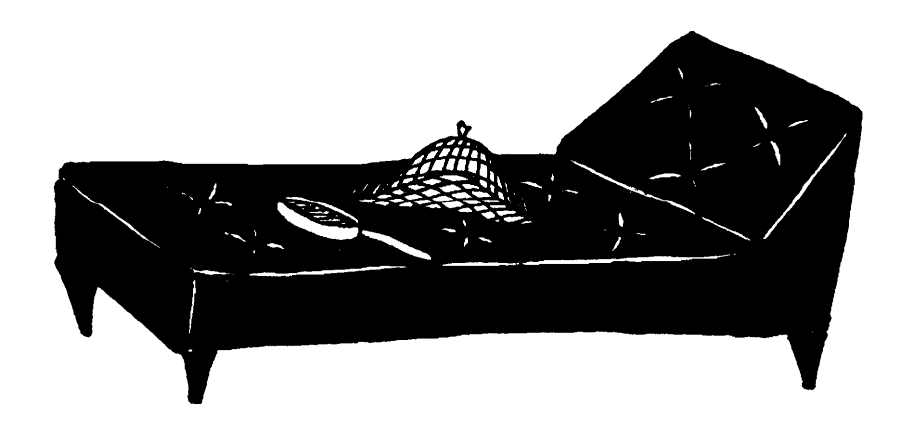
أحضر الغراء الممتازة المدرجة في قائمة المشتريات والمحاليل، وتأكد من أنها النوع الذي يحوي سيانواكريلات. وستظهر بصمات الإصبع على البرطمان الزجاجي الصغير أو الوعاء الذي اخترته أنت، لذا أمسك بإحكام بأصابعك العارية الكوب، واحرص على ألا تلطخ البصمات، ثم ضع البرطمان داخل وعاء الزبدة. دون في مفكرة أين لمست البرطمان لتذكرتك في المستقبل. خذ الكفة التي تحوي رقائق الألمنيوم وضع نحو ثلاثين نقطة من الغراء فيها. وعندئذ تتوقف كمية الغراء الموضوعة على حجم غرفة التحميض، فكلما كانت غرفة التحميض أكبر تطلب الأمر إضافة المزيد من الغراء. ضع الكفة التي تحوي الرقائق والغراء في قاع الغرفة إلى جانب البرطمان. وقد تحتاج أن تمسك الطاسة بالملقاط أو الكماشة كي تتجنب وصول الغراء إلى يديك وأنت تضع الكفة في الغرفة. ضع الغطاء بحذر على الغرفة، وتأكد من الغراء لا يسيل من الكفة، ثم ضع الغرفة جانبًا طوال الليل. سيتبخر الغراء طوال الليل، وسوف يتفاعل بخار الغراء مع الزيوت والمركبات التي خلفتها وراءك على البرطمان بأصابعك.

وفي الصباح، ارفع الغطاء بحذر وأزل البرطمان عن طريق إدخال قلم رصاص أو مسبار آخر طويل في فتحة البرطمان. حاول ألا تلطخ بقايا بصمات الأصابع التي يمكن ملاحظتها الآن على البرطمان. هل هناك أي بصمات في أماكن أخرى من البرطمان لم تكن ملحوظة اليوم السابق؟ كانت هناك بصمات على برطماننا مع أننا حاولنا أن نكون حذرين. وإذا كنت تتمتع بيدين ثابتتين، ولديك بعض الورق الأسود، وشريط لاصق شفاف، يمكنك أن ترفع البصمات من على البرطمان وتجعلها على الشريط. ضع بحذر قطعة صغيرة من الشريط على بصماتك. ولأن البصمات المحمضة تظهر بلون رمادي فاتح، فإن إلحاق الشريط بالبطاقة السوداء يجعلها أكثر وضوحًا، والبصمات يمكن رفعها من

عدة أسطح، حتى الأسطح غير المحتملة أيضًا، فعلى سبيل المثال، يمكن رفع البصمات من داخل القفازات الجراحية بالحرص الشديد.

ارتد قفازًا جراحيًّا وامسك مقبض الباب أو أي شيء آخر بإحكام. انزع القفاز بحيث تُخرج الجزء الداخلي للخارج ثم ضعه في غرفة التحميض. انشره قليلًا بحيث يتثنى للبخار أن يصل كل المناطق. ظهر البصمات بنفس الطريقة السابقة. وها قد تمكنا من تظهير إحدى البصمات من داخل قفازاتنا التي تمكننا من نقلها على شريط.

وتعد بقع الدم أيضًا غاية في الأهمية في إعادة بناء موقع الجريمة، وتوضح هذه التجربة الأخرى كيف يمكن اكتشاف وجود الدم، فالهيموجلوبين الموجود لدى الثدييات يعمل كعامل حفاز في تحليل فوق أكسيد الهيدروجين، ويمكننا الحصول على القدر الكافي من الهيموجلوبين لهذه التجربة من قطعة لحم نيئة، أو عندما تشتري قطعة بيفي يمكنك أن تأخذ الأنسجة الماصة الموجودة تحتها وتستخدمها كمصدر للدم. وسوف تحتاج كوبين صغيرين شفافين من البلاستيك وبعض ألوان الطعام ذات اللون الأحمر للضبط. ضع مقدارًا قليلًا من ألوان الطعام ذات اللون الأحمر في أحد الكوبين مع بعض الماء ثم اخلطهما معًا. خذ اللحم النيئة أو الأنسجة من البيفي، ثم اعصر القليل من الدم في الكوب الآخر. ثم صب نحو ملء ملعقة شاي (٥ مليلتر) من فوق أكسيد الهيدروجين في كل كوب. يتأكسد لون الطعام ببطء بسبب فوق الأكسيد ويتلاشى اللون تدريجيًّا، لكن الدم سوف يسبب تحللًا سريعًا وقويًّا لفوق أكسيد الهيدروجين، ويميز الاختلاف في التفاعلين بوضوح الدم عن لون الطعام.



الفصل الرابع

الكيميائي محللًا

«لقد عثرت على شارلوك هولمز وحده، لكنه كان نصف نائم بقوامه الطويل النحيل منكمشًا في كرسيه الهزاز. وقد استنتجت من وجود مجموعة هائلة من الزجاجات وأنابيب الاختبار، ومع تصاعد ... رائحة حامض الهيدروكلوريك اللاذعة، إنه قد قضى يومه في العمل الكيميائي الذي كان يقدره أيما تقدير.

وسألت وأنا أدخل: «هل وجدتها؟»

أجابني: «بلى، لقد كانت بيسولفات أكسيد الباريوم.»

صرخت: «لا، أعني حل اللغز!»

سير آرثر كونان دويل في روايته «مسألة هوية» ١٨٩٠

بالطبع يسهل على السكر أن يكون حلوًا وعلى نترات البوتاسيوم أن تكون مالحة.

رالف والدو إيمرسون في «رجال مندوبون» ١٨٥٠

الكيميائي باعتباره محللًا، أيُعقل هذا؟ بالطبع نعم، فنحن لا نستخدم أريكة لكي نحلل كيميائيًّا، نحن نستخدم كيميائيًّا لكي نحلل أريكة. لكننا أرجأنا مناقشتنا للكيمياء التحليلية لقرب النهاية لأنها تُخرج أفضل ما عند الكيميائي بطرق شتى. ففي الكيمياء التحليلية، تُحضر كافة أدوات الكيمياء وكل مواهب الكيميائي كي يطرحوا سؤالين هما: ما الكيمياء التحليلية، وما الكم الموجود لدينا منها؟ عند نقطة ما سنجد كل الكيميائيين كيميائيين تحليليين، وأن كل الكيمياء تتطلب تحليلًا. وثمة مناطق عديدة متخصصة تهم الكيميائيين التحليليين مثل خبراء مراقبة الجودة الذين يضمنون جودة الأطعمة التي نتناولها، ومدى الوثوق بالأدوية، وكل السيارات الجديدة التي تدور في خطوط التجميع لها نفس البريق. لكن الكيمياء التحليلية منتشرة للغاية حتى إن العديد منا، عادة يعمل ككيميائي تحليلي عندما يستخدم عبوات اختبار مياه الصنبور وعبوات اختبار ماء حمامات السباحة، وعبوات اختبار الرادون، وعبوات اختبار مياه أحواض الأسماك، وعبوات اختبار التربة، واختبار نسب الرصاص في مواد الدهان، وحتى اختبارات الحمل، واختبارات (مرض) السكر، ومحللة النفس الشهيرة التي تقيس نسبة الكحول في نفس السائق. وتكمن وظيفة كيميائي التحاليل في إيجاد — أو استنباط — الأداة أو الأدوات اللازمة لتحديد كمية المادة المعطاة أو طبيعة مادة غير معروفة.

وتقع الكيمياء التحليلية في نطاق الأعمال البحثية، ومثل محقق يحل الألغاز، يتعين على كيميائي التحاليل أن يتحرك بحذر وبمثابرة أيضًا كي يجد الإجابات الصحيحة. وكما أن الشرطي يتعين عليه لدى حدوث جريمة أن يؤمن مسرح الجريمة حتى يحول دون إفساد أي دليل موجود، كذلك يتعين على كيميائي التحاليل أن يتأكد من أن كل المعدات والأدوات الزجاجية التي يستخدمها نظيفة تمامًا وخالية من أي تلوث. وكما أن محقق الشرطة يجمع أتفه الأدلة، يتعامل كيميائي التحاليل في بعض الأحيان بالمثل مع مقادير مثل الميكروجرام (جزء من مليون من الجرام)، والنانوجرام (جزء من مليون من ألف من الجرام)، والبيكوجرام (جزء من مليون المليون) كي يحصل على الإجابات. وقد يصل الأمر بكيميائي التحاليل إلى أن يأخذ بعين الاعتبار دفع الهواء لكي يحصل على الوزن الدقيق.

وكما يجب على رجال الشرطة أن يحتفظوا بأسلحتهم ويقدموها في الميعاد في مكان التدريب، هكذا يجب على الكيميائيين التحليليين أن يضمنوا دائمًا أن أدواتهم لا تزال محتفظة بالتدرج وتعمل جيدًا. وفي عمل الشرطة، إذا اعترف أحدهم دون أن تُتَّبع الإجراءات المناسبة التي تنص عليها اللوائح، فإن أكبر الدلائل تصبح عديمة الجدوى. وعلى نفس المنوال، يجب أن يكون كيميائي التحاليل قادرًا على الدفاع عن النتائج التي يصل إليها عن طريق تسجيل المعالم مثل حدود الثقة ومستويات الضجة الصادرة عن الأدوات والأشكال المهمة.

ويجب أن يكون كيميائي التحاليل ضليعًا دائمًا، فإذا وُجد خيط من سجادة لن يساعد على تحديد موقع المجرم في مسرح الجريمة، لكن خيط السجادة مع شعرة الكلب مع بقعة دهان لم يجف بعد قد تكوِّن معًا أدلة مقنعة لهيئة المحلفين. ويجب على كيميائي التحاليل في أوقات عديدة أيضًا أن يقدم مجموعة من الأدلة، أي نتائج تثبت أدلته باستخدام طرق بديلة وتكرار نفس الإجراءات مرات عديدة لكي يُثبت أن النتائج منطقية من الناحية الإحصائية.

وفي بعض الأوقات، يجب أن يعيد الكيميائي التحليلي، شأنه في ذلك شأن البوليس السري الذي يتبع المبادئ العلمية في البحث، هيكلة الأحداث، فعندما يحدث انفجار، قد يكون لذلك أسباب عدة، ليست جميعها شريرة. لكن إذا كان هنالك آثار لمواد كيميائية لا تُستخدم لأي أغراض أخرى غير التفجير، عندئذ يكون هذا دليلًا قويًّا على أن التفجير مُتعمد. وعندما يُشتبه في تعاطي المخدرات، يُفحص الدم، غير أن دليل وجود الهيروين في الدم لا يعتمد على وجود آثار من الهيروين، لكنه يعتمد على وجود نواتج أيض الهيروين، أي المورفين، ومع ذلك حتى وجود المورفين لا يشير دائمًا إلى استهلاك الهيروين، فقد وُجد أن بذور نبات الخشخاش التي تُستخدم في المخبوزات تحتوي على نسبة ضئيلة من الأفيون ويمكنه أن ينتج نسب ضئيلة من المورفين في البول. والأدوية المصرح بها يمكن أن يقوم الجسم بأيضها إلى مواد خاضعة للسيطرة، من ثم يجب أن تؤكد الأدلة الأخرى وجود الأدوية المحظورة أو تدحضه. في الواقع، ثمة تشابهات عديدة توجد بين كيميائي التحاليل المحنك والمحقق الجنائي، لدرجة أننا سوف نستخدم أساليب التقصي الافتراضية بواسطة كيميائي التحاليل الذي يعمل في مجال الطب الشرعي كي نوضح كيف يتحرك المتخصصون المحترفون.

إن مهمة الكيميائي العامل في مجال الطب الشرعي هي أن يطبق الكيمياء التحليلية على القضايا الهامة للأنظمة القضائية. عادة ما يعمل الطبيب الشرعي في معمل الحكومة وقد يتحمل مسئولية الذهاب بنفسه إلى مسرح الجريمة، وتجميع الأدلة، وفحص الأدلة والشهادة في المحكمة. ولكي نرى كيف يمكن أن يعمل كل هذا، دعونا نبدأ بسيناريو لموقع جريمة افتراضي ونتتبع سير عمل كيميائي التحاليل وهو يتحرك.

ولنقل مثلًا إن الشرطة قد استدعيت في إحدى الليالي إلى مبنى ما بسبب الصرخات العالية الصادرة عن إحدى الشقق الذي تبعه غلق الباب بعنف شديد. تصل الشرطة وتجد جثة امرأة غارقة في بحيرة من القيء. ويذكر الطبيب الشرعي من الفحص المبدئي أنه يبدو أن المرأة ماتت إثر حادثة من جراء إصابتها بصدمة تأقية (فرط شديد في الحساسية)، غير أنه يجب بالطبع أن يُجري تشريحًا للجثة للتأكد.

والصدمة التأقية، التي تكون السبب للعديد من حالات الوفاة سنويًا، هي تفاعل آرجي شديد للغاية حتى إنه يسبب انقباضًا في الحنجرة لدرجة الاختناق، والمادة التي تسبب التفاعل الآرجي، التي يُطلق عليها «المادة المثيرة للحساسية (المُستأرج)»، قد تكون من المكسرات أو بيض أو سُم نحلة أو العديد من المواد المعروفة. وعادة يعاني الأكثر عرضة للصدمة التأقية استجابة أولية خفيفة لنفس المُتسأرج، ثم تزداد حساسيتهم باطراد شديد مع كل تعرض للمادة المثيرة للحساسية. والذين يعرفون أنهم عرضة لمثل هذه الاستجابات الشديدة يحملون جهاز إيبيبن epipen، وهو جهاز صغير يشبه القلم لحقن جرعة من الأدرينالين، التي تقاوم الانتفاخ وتنقذ الحياة، ووفقًا للطبيب الشرعي في قصتنا، المرأة التي عُثر عليها في الشقة لديها كل العلامات التي تدل على أنها قد عانت هذا الموت المؤسف لكن الطبيعي. لكن ثمة تقريرًا يفيد بأنه كانت هناك صيحات عالية وغلق عنيف للباب، من ثم استدعي فريق كامل من الطب الشرعي.

عادة يدرس الكيميائي العامل في مجال الطب الشرعي كل الدلائل الممكنة في مسرح الجريمة ويسجلها. لكن في هذه الحالة، تتفحص الكيميائية محتويات الأرفف وخزانة الأدوية وتأخذ أي عينات من على الأسطح لترى ما إذا كان بمقدورها أن تحدد مصدر المادة المثيرة للحساسية، وتقوم بمسح يد الضحية

ووجهها كي تجمع أي آثار لمواد كيميائية، كما تأخذ عينة من دم الضحية ومحتويات المعدة المتوافرة في بركة القيء. وتلاحظ الكيميائية أن المأكولات الموجودة على الأرفف منتقاة بعناية بحيث تكون خالية تمامًا من زيت الفول السوداني أو منتجات الفول السوداني، ومن ثم تشتبه في أن المرأة تعاني حساسية من الفول السوداني، المتهم الأكبر في الصدمات التأقية. وتأخذ الكيميائية عينات بحذر من كل الأطعمة الموجودة في الثلاجة وكل الأوعية الموجودة على الأرفف، كما تفحص حافظة نقود الضحية وجيوبها لكنها لا تجد شيئًا جديرًا بالاهتمام. وتفتح أيضًا الأدراج في المطبخ وحجرة النوم دون طائل أيضًا. وتنظر في خزانة الأدوية ولا تجد إلا بعض الأدوية التي ليس لها وصفات طبية مثل أسبرين ومضاد للحموضة وضمادات. وعندما كفت الكيميائية عن العمل وكانت تستعد للرحيل، توقفت لتخبر الضابط المسئول أن ثمة حاجة لعمل المزيد من التحقيقات، فهي تعتقد بناء على ما رأته حتى الآن أنها جريمة قتل. عزيزي القارئ، أتعتقد أنت أيضًا ذلك؟

بدأت الشرطة تتصرف بناء على اقتراح الكيميائية وعادت هي إلى معملها لكي تؤكد بعض شكوكها. أولًا، إذا قلنا إن سبب الموت هو تفاعل حاد مع الفول السوداني، إذن يجب أن يكون هناك بعض من زيت الفول السوداني أو بقايا للفول السوداني في مكان ما في جسم الضحية. عندئذ تأخذ الكيميائية عيناتها وتشرع في تحليلها.

وأول مشكلة قد تواجه الكيميائي التحليلي عملة الفصل، فكما تفصل الشرطة الشهود وتأخذ كل واحد في حجرة على حدة لتستمع إلى حكاياتهم حتى تتجنب تدخل أو أي تشويش من ذوي النفوذ على غيرهم، كذلك سوف يبذل الكيميائي التحليلي أقصى جهدها كي تفصل مكونات الخليط غير المعروف ومن ثم يمكن تحليل المواد المفصولة دون تشويش من الأنواع الأخرى. وإذا كانت المواد توجد في مراحل منفصلة، عندئذ يمكن استخدام تقنية مباشرة مثل الترشيح، فعلى سبيل المثال، ترشح الكيميائية عينات محتويات المعدة ثم تبرد المرشح كي ترى إذا كانت مواد أخرى ستنفصل.

إذا كان المركب موضع الاهتمام مركبًا عضويًا، فإنه يمكن فصله من المركبات غير العضوية المصاحبة له بواسطة طريقة استخلاص مبسطة مثل تلك التي استخدمت لاستخراج حامض الأسيتيل ساليسيك من الأسبرين في

تجربة الكيمياء العضوية. لكن نتيجة استخلاص محتويات المعدة والدم ستكون خليطًا من المواد العضوية، وإذا كانت المحاولة التي نود أن نجريها هي محاولة فصل مادتين عضويتين، إذن الطريقة التي ستجري هذا العمل البارع هي طريقة الكروماتوغرافيا (الاستشرابية).

والكروماتوغرافيا هي تقنية للفصل يُمرر فيها المذيب على خليط ويحمل العديد من المواد المذابة على مسافات مختلفة. وقد يمكن توضيح ذلك عن طريق عملية فصل الأتربة عن الذهب، إذ يغسل الماء الذي يتدفق بلا انقطاع فوق الرمال الجزيئات الأقل كثافة مُخلفًا وراءه الذهب.

ويمكن توضيح التقنية التي تقوم عليها الكروماتوغرافيا بطريقة مبسطة باستخدام الأسيتون أو مزيل طلاء الأظافر وبعض أوراق الشجر. اقطع ورقتي شجرة خضراوين أو ثلاثًا ومزقهما ثم ضعهما في قاع كوب شرب زجاجي. وبعد أن ترتدي نظارة الأمان الواقية، أضف نحو ثلاث بوصات من الأسيتون (مزيل طلاء الأظافر)، الذي ينبغي أن يغطي كومة أوراق الشجر. اترك خليط الأوراق هذا لعدة دقائق حتى يتمكن الأسيتون من استخراج مركبات من الأوراق.

اقطع قطعتين من ورق الحمام طويلتين بما يكفي ليصلا إلى قاع الكوب. لف إحدى طرفي الورقتين حول قلم رصاص وثبتها بشريط لاصق، وينبغي أن تكون الورقة الآن أقصر قليلًا من ارتفاع الكوب لكن بالقدر الذي يسمح لها أن تلمس السائل.

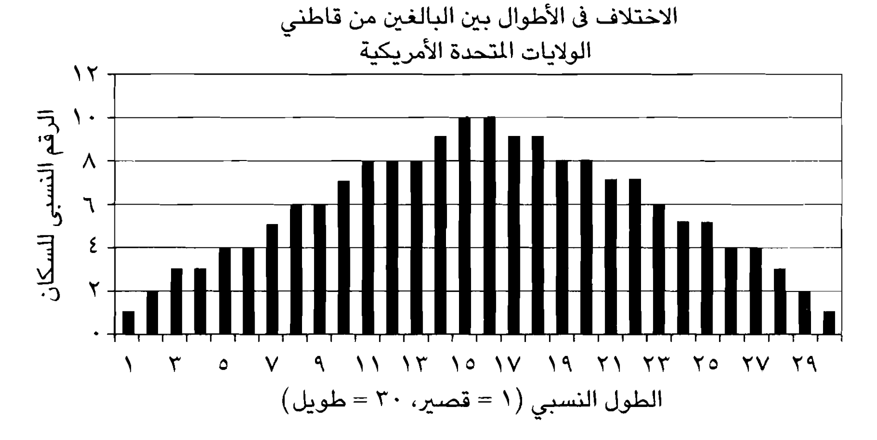
ضع القلم الرصاص في الكوب واغمس ورق الحمام في خليط الأسيتون وورق الشجر. وبعد مرور بضع ساعات ينبغي أن يظهر على الأقل زمرتان مختلفتان من الألوان على الورق، إذ ينتقل الأسيتون لأعلى الورق بفعل الخاصية الشعرية، وينقل معه صبغ ورق الأشجار، لكن انتقال صبغة ورق الشجر بهذه السهولة مع المذيب يتوقف على نوع الصبغة، من ثم عندما يكون هناك أكثر من صبغة واحدة في الورقة، فإنها تنفصل إلى مجموعات. انتظر دقيقة ثم انظر إلى لون المجموعات، ينبغي أن يكون لون إحداها الأخضر، لكن المجموعة أو المجموعات الأخرى يكون لونها الأصفر أو البرتقالي أو الأحمر. ويُقال في موسم الخريف إن الأوراق تغير لونها، لكن حقيقة الأمر، هذه الألوان التي يبدو أن الورق قد غيرها موجودة بالفعل في الورقة من البداية، لكن ما يحدث

هو أن الكلوروفيل هو الذي يُفقد في موسم الخريف، وباختفاء الكلوروفيل وبقاء الصبغات الأخرى تظهر الألوان الأخرى.

والتجربة التي استخدمنا فيها الأسيتون وورق الحمام وورق الشجر هي مثال على «كروماتوغرافيا المحلول»، لكن ثمة كروماتوغرافيات أخرى تعمل وفقًا لنفس المبدأ، فالمواد المختلفة يمكنها أن تنفصل عندما تنتقل مع مذيباتها عبر سطح ماص. وفي حالة كروماتوغرافيا الغازات يكون المذيب غازًا، ويتخلل الغاز عمود من الجسيمات الصلبة. والمواد التي يلتقطها الغاز تنفصل إلى مجموعات وتذوب المادة، ويُعاد امتصاصها، وتذوب مرة أخرى في الغاز. وأيون الكروماتوغرافيا الذي يستخدم الماء كمذيب، يمكنه أن يُستخدم في فصل الأملاح غير العضوية. وتستخدم الكروماتوغرافيا السائلة العالية الأداء (HPLC) الضغط العالي كي تدفع عينات السائل داخل عمود كثيف السمك ومن ثم تحقيق درجة عالية من الفصل.

وما إن يفصل الكيميائي التحليلي كل المواد العضوية من الأقطان التي استخدمها في مسح الجثة وغيرها، قد تكون الخطوة التالية التي سيُقدم عليها هي مدى التركيز. ويُواجه مشكلة التركيز إذا كانت المادة التي ستخضع للتحليل موجودة بكميات قليلة. فمع أن الطرق التحليلية في تقدم مستمر طوال الوقت، وتزداد حساسية الأجهزة باطراد مستمر، فإنه لا يزال هناك حد أدنى، ولا يمكن لأجهزة معينة أن تكتشف المادة إذا كانت كميتها أقل من هذا الحد الأدنى. فعلى سبيل المثال، قد يصعب كشف الكميات الصغيرة من السموم في الدم. فأجسامنا بطبيعتها تركز السموم في الكبد، وقد يستفيد المحلل من هذه الحقيقة إذا كان الكبد يعمل، أما إذا لم يكن الكبد يعمل، فقد يحدث التركيز عن طريق التبخير أو الترسيب أو الطرد المركزي — وهي الطريقة التي تُدار فيها العينات في أنابيب الاختبار بمعدلات سرعة عالية حتى تترسب المكونات الأكثر ثقلًا في القاع.

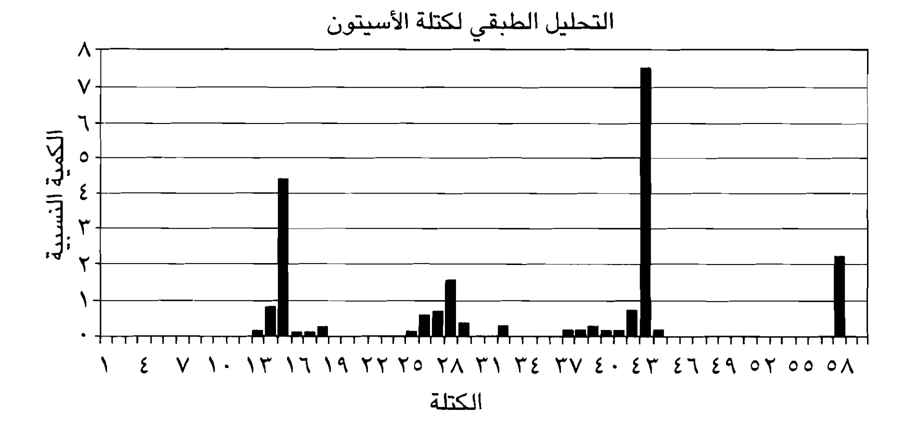
وثمة إجراء مختلف يُطبق على العينات الضئيلة من الدنا، إذ تُستخدم تقنية تعرف باسم «تفاعل البوليميرات المتسلسل» PCR، حيث لا يُركَّز الدنا بل يُضاعَف، ويستخدم تفاعل البوليميرات المتسلسل الآلية الكيميائية للجسم نفسه التي تُجنى من الخلايا وتُحضر إلى أنبوبة الاختبار لعمل نسخ من الدنا حتى تصل التركيزات إلى علو يسمح بتحليلها.



شكل ٢-٤-١: تحليلًا طيفيًّا افتراضيًّا لأطوال الناس الموجودين في الولايات المتحدة الأمريكية.

ولأن المادة التي يجري تحليلها، بقايا الفول السوداني، التي تسعى وراءها الكيميائية هي مادة عضوية، فإن طريقة التحليل المفضلة هنا للكيميائية هي على الأرجح «كروماتوغرافيا الغاز مع التحليل الطيفي للكتلة» GCMS، وتتضمن آلية عمل هذه الطريقة، فصل المادة إلى مكوناتها باستخدام الكروماتوغرافيا بما قد بيناه سابقًا. ففي حين يتدفق الغاز الناقل الذي يعادله الأسيتون في تجربة صبغة أوراق الشجر، فوق العينة التي لدينا، عندئذ تنفصل مكونات الخليط إلى مجموعات تتحرك أسفل الأنبوبة مع حزمة من المادة الممتصة تُسمى «العمود». ويكمن التحدي في تحليلها في الطرف الآخر من العمود بأسرع قدر ممكن وهي تخرج من العمود. ويمكن إتمام التحليل بواسطة عدة طرق، من أشهرها «التحليل الطيفي للكتلة».

والتحليل الطيفي هو الاسم العام الذي يُطلق على أية تقنية يكون الطيف هو إحدى نتائجها الأخيرة، والطيف رسم بياني ذي متغيرين، أحدهما هو الكيف الذي يُسعى إليه، وثانيهما هو كمية هذا الكيف. فعلى سبيل المثال، يمثل الناس في الولايات المتحدة نطاق ألوان واسعًا من حيث الطول، فتتدرج أطوالهم من القصير جدًّا إلى الطويل جدًّا. وإن كان علينا أن نفترض مثلًا خريطة لعدد الناس في مقابل الطول النسبي، فقد يكون لدينا تحليل طيفي مثل ذلك الموضح في شكل ٢-٤-١.



شكل ٢-٤-٢: التحليل الطيفي لكتلة الأسيتون، إذ يكسر تيار من الإلكترونات جزيئات الأسيتون، وتُقاس كمية كل قطعة وكتلتها النسبية، وبواسطة هذه المعلومات، إلى جانب مقارنة نموذج القطعة بالنماذج المعروفة، يمكن تحديد هوية الجزيء.

وفي التحليل الطيفي للكتلة، تفرز الكتلة شظايا من الجزيئات، كما هو موضح في شكل ٢-٤-٢.

وتعد الكتلة خاصية مُحدِّدة للهوية جيدة جدًّا، فإذا كان لديك شيء مستدير يزن عشرة أرطال (خمسة كيلوجرامات)، وشيء آخر يزن واحد أوقية (ثمانية وعشرين جرامًا)، فإنك ستكون قادرًا على الفور أن تميز الكرة الحديدية عن كرة التنس. لكن الموقف ليس بهذه السهولة للتحليل الطيفي للكتلة، فلكي تفصل الجزيئات بناء على الكتلة، يجب أن تحولها أولًا إلى أيونات، والطريقة التي يمكن بها تحويل الجزيئات إلى أيونات هي تحطيمها، وهي الطريقة التي تصطدم فيها الجزيئات بمصدر من الإلكترونات بمجرد خروجها من عمود الكروماتوغرافيا، ونرى هنا مرة أخرى قوة الإلكترونات، وقد ذكرنا من قبل أن الإلكترونات بالنسبة للجزيئات مثل البرغوث بالنسبة للفيل، لكن تخيل لو أن سربًا ضخمًا قويًّا من هذه البراغيث هاجم الفيل! كذلك، قد تكون الإلكترونات صغيرة للغاية لكنها تمتلك القوة التي تساعد على حدوث الكيمياء.

وفتات الجزيئات عامة تفقد إلكترونات، من ثم تتمتع بشحنة صافية، وتمامًا كما رأينا في الكهرباء المغناطيسية التي حصلنا عليها من توصيل سلك بمسمار وبطارية، يتفاعل المجال الكهربائي الخاص بالشحنة المتنقلة

مع المجال المغناطيسي، وقد عملت الفتات كي تنتقل في طريق منحني عن طريق المجال المغناطيسي، بالإضافة إلى أن الكتلة والشحنة الموجودة على الفُتاتة يحددان نصف قطر المنحنى، ومن ثم تُرتب الفتات بالكتلة.

ولكي نفسر ذلك التحليل الطيفي يجب أن ندمج القليل من العمل البوليسي البارع كما هو الحال في كافة نواحي الكيمياء التحليلية، وسيبحث كيميائي التحاليل عن أضخم الفُتات، أو الفُتاتة الرئيسية، لأن هذه الفُتاتة هي الأقرب للكتلة الأصلية، فربما لا تكون ناقصة سوى ذرة أو اثنتين من ذرات الهيدروجين، ولا تكون الفُتاتة الرئيسية بالضرورة هي الأكثر وفرة لكنها تتمتع بالكتلة الأكبر، ويعتمد نموذج التكسير، أو الطريقة التي يكسر بها تيار الإلكترونات الجزيئات، على الهشاشة النسبية للروابط الأحادية. ولهذا، يأخذ الكيميائي في اعتباره نموذج الفتات لأن نفس هذا النوع من الجزيء يميل للانكسار بنفس الطريقة تحت نفس الظروف، وتُحفظ مصادر النماذج المتفتتة على الحاسبات الآلية ويمكن مقارنتها بالنماذج غير المعروفة، وفي هذه الحالة، تكون الفُتاتة الرئيسية ذات القيمة الأعلى للكتلة هي الذروة إذ تصل كتلتها نحو ثمانية وخمسين. والصيغة الكيميائية للأسيتون هي C_2H_6CO. وبالاستعانة بالملحق، يمكننا أن نستدل على أن كتلة جزيء الأسيتون هي ثمانية وخمسين، إذ يتكون من ذرتي كربون تبلغ وحدة كتلتها الذرية ١٢,٠١ بالإضافة إلى ست ذرات هيدروجين تبلغ كتلة وحدتها الذرية ١,٠٠ وذرة كربون أخرى وحدة كتلتها الذرية ١٢,٠١ وذرة أوكسجين تبلغ وحدة كتلتها الذرية ١٦,٠٠. من ثم يكون لدينا دليل كافي أن المركب الذي بين أيدينا هو أسيتون، غير أننا نحتاج إلى دليل يدعم هذا الكلام للتأكد، فمركب مثل C_3H_8N كتلته الذرية هي ثمانية وخمسون أيضًا.

وبنهاية هذا الاختبار يأمل الكيميائي أن المعدل كان جيدًا وأن التفسير كان دقيقًا — أو أن هناك عينة كافية لمحاولة أخرى — لأن هذه التقنية تعد تقنية مدمرة، وذلك لأن العينة قد نفدت الآن ولا يمكن إحياؤها من جديد، ولحسن الحظ، ثمة طرق أخرى متعلقة بالمنظار وغير مدمرة، وإحداها هو الطيف الضوئي.

لقد شاهدنا عندما عرضنا مادة التبييض للضوء الأسود أن ثمة أنواعًا مختلفة من الضوء تتفاعل مع المادة بطرق مختلفة، وأن نوع الضوء الذي

تتفاعل معه المادة يمكن أن يكون من إحدى خصائص المادة نفسها. ويُستغل هذا التفاعل الحادث بين الضوء والمادة عن طريق التحليل الطيفي للضوء، وتُعرض عينة من المادة لشعاع ضوئي ينفصل إلى مكوناته بالطريقة التي يفصل بها المنشور الضوء إلى ألوان، ويُسمح لحزمة معينة من الضوء أن تنفذ من خلال العينة، ثم يُكشف عن كمية الضوء التي تنجح في النفاذ من العينة من الجانب الآخر وتُسجل. ثم يُسلط تردد جديد من الضوء على العينة، وعندئذ يُسجل مرة أخرى مقدار الضوء الذي نفذ من العينة وهلم جرًّا. وحتمًا إذا جرت العملية بالتدريج والبطء الممل كما أشرنا، فإن التحليل الطيفي للضوء سيكون تقنية شاقة للغاية وقد كان بالفعل كذلك في وقت ما، غير أن تحسينات عديدة أُدخلت عليه فيما بعد حتى أصبح الآن تقنية سريعة ودقيقة للغاية.

وتتضمن أنوع التحليل الطيفي للضوء، التي تُستخدم على نطاق واسع، التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية، والتحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء، والتحليل الطيفي للموجات الميكروئية الذي يكون أقل شيوعًا في معامل الطب الشرعي. وغالبًا يستخدم التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية في تحليل المركبات غير العضوية، في حين أن التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء يستخدم غالبًا في تحليل المركبات العضوية. وفي الواقع، تُرجع بعض المصطلحات المستخدمة للإشارة إلى التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء ذاكرتنا مرة أخرى إلى طبيبتنا الشرعية، فالمنطقة التي أظهر فيها مطياف الامتصاص الخصائص التي تميز بشدة المركب الذي يخضع للتحليل تُسمى منطقة «بصمة الإصبع»، وهو مفهوم ينبغي أن تتشجع به طبيبتنا الشرعية!

غير أن التحليل الطيفي للضوء، شأنه شأن التحليل الطيفي للكتلة، لا يطبع اسم المركب على قصاصة من الورق ويسلمها لك، فالطريقة التي يتفاعل بها الجزيء مع الضوء سوف تعتمد على طبيعة كل أنواعه وترتيبها، من ثم تعد الاستجابة للضوء متنوعة ومعقدة، ويمكن أن يلجأ كيميائي التحاليل مرة أخرى إلى مجموعة البيانات، لكن إن لم يكن الفصل نقيًّا تمامًا ويصاحبه بعض الملوثات أو التشويش أو الفتات، عندئذ سيكون هناك الكثير من العمل البوليسي لنقوم به.

عادة تكون المركبات غير العضوية أقل حساسية عن المركبات العضوية (فعلى سبيل المثال لا تحترق الأملاح مثلما يحترق الإيثانول)، وعامة يسهل

تحليله باستخدام التقنيات التي لا تسبب الأضرار، فعلى سبيل المثال، يُجرى التحليل التقليدي لأيون غير عضوي لكي يُرى ما الذي يجعله يترسب، فأيونات الكربونات الموجودة في بيكربونات الصودا تكوِّن راسبًا مع أيونات النحاس، ولا تكوِّن أيونات الكبريتات والنيترات السائلة راسبًا، ولعل مطياف الامتصاص الذري (ويشار إليه في المعمل بـ AA) هو تقنية أكثر حساسية ودقة لتحليل المركبات غير العضوية في أيدي الخبراء التحليلين المهرة، غير أنه تقنية مدمرة، وفي AA يُفصل المحلول الذي يحوي المادة المراد تحليلها إلى ذرات، بمعنى أن السائل يحول إلى قطرات صغيرة أو رذاذ، تمامًا كما في البخاخة المستخدمة مع زجاجات العطور أو زجاجات منظفات النوافذ، وبمجرد جعل المحلول في صورة رذاذ، فإن المحلول المراد تحليليه يُرش في صورة لهب غاز الأسيتلين المُعالج بعناية من ثم يتمتع بدرجة الحرارة المناسبة.

ويجب أن تُوضع العينة في الموضع المناسب في اللهب، ويتمتع اللهب نفسه بكيمياء خلابة متمثلة في أن بعض المناطق في اللهب نفسه تكون أكثر سخونة من غيرها، وبعض المناطق تساعد على حدوث تفاعلات أكسدة والبعض الآخر تفاعلات اختزال. وبالطبع، يوجد هناك أكثر أوجه كيمياء اللهب تشويقًا، المتمثلة في اللهب الذي ينتج حرارة وضوءًا معًا، ويعتمد لون اللهب على المادة الموضوعة في اللهب، مثلما تعتمد ألوان الألعاب النارية على المادة الموجودة في المدفع، وفي أحد الأوضاع، يستفيد جهاز AA من هذه الحقيقة كي يحلل المادة التي فُصلت ذراتها في اللهب، فالكاشف الضوئي الموجود بالقرب من اللهب يسجل الألوان المختلفة لألسنة اللهب وكثافتها، التي تعد متناسبة مع كمية كل مادة موجودة في اللهب.

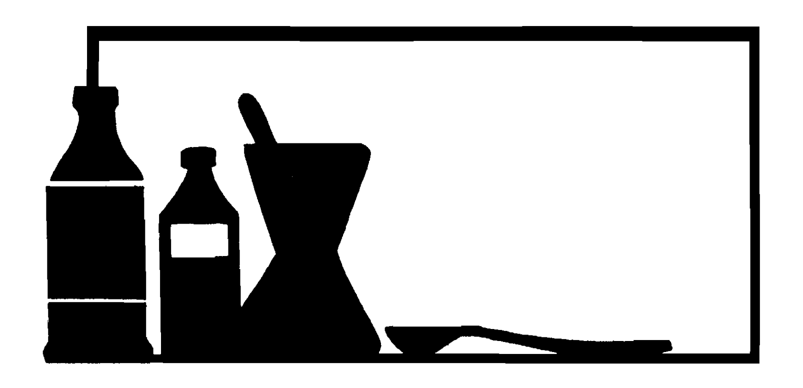
وفي وضع آخر، يستخدم جهاز AA بعض الظواهر الفيزيائية الأخرى المعروفة والمستخدمة، مثل حقيقة أن المواد تميل لامتصاص نفس تردد الضوء الذي ينبعث منها، فمثلًا النظارات التي تكون عدساتها ذات لون وردي تجعل لون كافة الأشياء من حولنا أقرب إلى اللون الوردي لأن المواد المصنوع منها العدسات صُممت لكي تمتص كل الألوان عدا اللون الوردي، ويمكن تحديد المواد عن طريق الألوان التي تمتصها. وفي جهاز AA أيضًا، يُوجه ضوء المصباح المصمم كي يبعث خطًّا رفيعًا جدًّا من الألوان نحو العينة الموجودة في اللهب. ويُصمم المصباح بحيث تكون مادة التحليل هي أيضًا المادة التي

تنتج ضوء المصباح، أو بكلمات أخرى، إذا أراد المحلل أن يحلل الصوديوم، عندئذ يُستخدم مصباح يحتوي على صوديوم، وفي هذه الحالة يبعث المصباح ضوءًا مُميزًا للصوديوم، وإذا كان يوجد أي صوديوم في العينة، فإنه يمتص الضوء ويبين الكاشف أن ثمة بعض الضوء المفقود.

والطرق التي تستخدمها طبيبتنا الشرعية الباسلة هي تقنيات التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء وللكتلة، وبنهاية التحاليل التي قامت بها وجدت بالفعل آثارًا لزيت الفول السوداني في فم الضحية، من ثم الأسئلة التي تطرح نفسها هي: من أين جاء هذا الزيت؟ وإلى أين ذهب؟ فالطبيبة تحلل عينات الطعام والدواء التي أخذتها من الشقة لكنها لا تجد شيئًا، وتلحظ أن المريضة قد قرأت البطاقات حتمًا بعناية شديدة كي تتجنب حتى المنتجات التي يبدو أنها غير مضرة مثل بعض أنواع الآيس كريم والسلع المخبوزة وصوص السلطة والحساء التي من الممكن أن تحتوي على زيت الفول السوداني، ولم تكشف المعدة أو الدم عن وجود أية سموم أخرى، مع أن هناك دليلًا على حدوث تفاعل حساسية حادة، وتظل تفكر مليًا بعناية بالغة وتجدول النتائج التي توصلت إليها وإذا الهاتف يرن؛ إنها الشرطة تتصل بها كي تخبرها بأنها كانت محقة، فقد وجدوا ما أخبرتهم أن يبحثوا عنه، ألا وهو جهاز إيبيبن غير مستعمل — وهي حقنة مليئة بدواء منقذ — ملقاة في وعاء قمامة خلف البناية التي تعيش فيها مع زوج من القفازات الجراحية.

ما الذي جال بخاطر الكيميائية وجعلها تخبر رجال الشرطة أن يبحثوا عن جهاز إيبيبن خارج الشقة؟ عندما بحثت هي في الأرفف وفي خزانة الأدوية وبجانب الضحية لم تجد جهاز إيبيبن، لقد علمت أن الضحية كانت حريصة للغاية بشأن اختيار مأكولات خالية من المادة المثيرة للحساسية (زيت الفول السوداني)، من ثم كانت الضحية على دراية بالحساسية المصابة بها، وأي شخص كان على علم بأنها مصابة بمثل هذا النوع من الحساسية الخطيرة، يعلم حتمًا أنها ينبغي أن تكون محتفظة بجهاز إيبيبن في متناولها أو في مكان يسهل الوصول إليه، وهي قد مُنعت من الوصول إليها. وتعلم طبيبتنا الآن أنها سوف تجد على سطح القفاز زيت الفول السوداني، وقدرًا لا بأس به من بصمات الأصابع داخل القفاز.

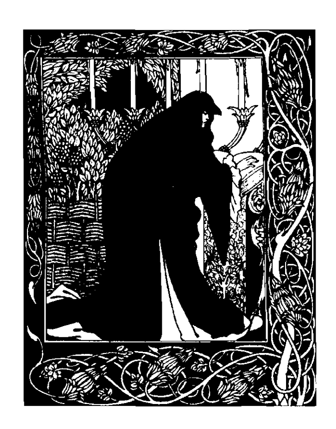
ومن ثم قد تكون مهنة المحلل الكيميائي معقدة وصعبة ومرهقة ودقيقة، غير أنها لا تزال تُستخدم على نطاق أوسع من نطاق الجرائم. ومع أن بعض الناس قد تكون لديها حساسية لبعض النباتات، وبعض النباتات قد تكون سامة لكل الناس، فإن التفاعلات بين النباتات والحيوانات لا تكون دائمًا متخالفة، إذ تكون النباتات في بعض الأحيان مفيدة للغاية، في حقيقة الأمر، عندما يتعلق الأمر بالنباتات والحيوانات، فإن لهم مستقبلًا معًا، مستقبل الكيمياء.



تجربة للمستقبل: كيمياء خزانة الأدوية

لإجراء تجربتنا الأخيرة، اذهب إلى خزانة الأدوية وخذ مشابه صناعي خلاصة لحاء نبات الصفصاف المعالج لتخفيف التأثير الحامضي، أو بكلمات أخرى، خذ أسبرين، ما علاقة الأسبرين بمستقبل الكيمياء؟ واصل القراءة.





الفصل الخامس

هاري، وهوغوارتس، ودستور الأدوية للعامة — غموض في الماضي وسحر في المستقبل

«أنت هنا كي تتقن العلم البارع والفن الدقيق لصناعة الأدوية ... ولأن هناك عصا سحرية خرقاء تلوح، سيعسر على الكثيرين منكم تصديق أن هذا سحر ... جمال الغلاية التي تتصاعد أدخنتها اللامعة، والقوى الدقيقة للسوائل التي تزحف عبر أوردة البشر ساحرة أذهانهم، وملهبة مشاعرهم ... بمقدوري أن أعلمك كيف تعبئ الشهرة في زجاجات وتطهو المجد وتوقف زحف الموت ...»

صاح سناب فجأة قائلًا: «بوتر، ما الذي يمكن أن أحصل عليه إذا أضفت جذور مطحونة من نبات البروق إلى منقوع الشيح.»

جيه كيه رولنج في «Harry Potter and the Sorcerer's Stone» ١٩٩٧

هناك عشرات الملايين من المركبات الكيميائية المعروفة، ويُجمع المزيد كل يوم، وفعليًّا عدد مجموعات العناصر التي ستُكتشف في المستقبل عدد لا نهائي، وهكذا يستمر الجدول الدوري في التوسع، وقد أصبحنًا تقريبًا ماهرين في مهنتنا. ومثلما يكون الأطفال في متجر الحلوى حيث يوجد الكثير من الحلوى لكنهم لا يعرفون من أين يبدءون، هكذا الحال معنا، إذ لا يكون السؤال هو هل هناك المزيد من الكيمياء لتُكتشف، لكن السؤال هو أين ينبغي أن نركز أولًا. ومع كل المشكلات التي تواجه بقاء الجنس البشري، فلا يمكننا أن نضع مليون كيميائي في مليون معمل ونأمل أن نجد الحلول لهذه المشكلات، ولنأخذ على سبيل المثال مشكلة اكتشاف الأدوية، فكيف يمكننا أن نقرر أي مركب من عشرات ملايين المركبات غير التقليدية الموجودة لدينا سوف نجربه كعلاج للأمراض؟ لقد حدث في الماضي بعض الصدف السعيدة، لكن لا يمكننا أن نعتمد على الحظ.

وهناك اختياران في عملية التصنيع الرشيد للأدوية؛ أولهما: أنه يمكننا أن نجري اختبارات متنوعة على المركبات التي نجح استخدامها في الماضي، وهذا النهج مقبول ومعقول وغالبًا ما ينجح؛ فعندما يتغير نوع معين من البكتريا يطور سلالة محصنة ضد أدويتنا، عندئذ يمكننا أن نأخذ الدواء الذي كان يعمل من قبل ونضيف مجموعة جديدة من الذرات أو نغير رابطة لنرى هل بمقدورنا أن نجعله فعالًا مرة أخرى، وقد أنتج هذا النهج، الذي يُسمى «النهج التوفيقي»، مركبات نافعة عديدة، غير أن هذا النهج قد شُبه أيضًا بشجرة ذات جذور عدة، فهي يمكنها أن تختبر أنواعًا عدة من التربة، لكن أنواع التربة التي تقع على مقربة منها فحسب، فإذا كان هناك دواء جديد ذو تركيب جديد تمامًا، من أين للنهج التوافقي أن يكتشفه، فهو ينحصر في مجموعة معينة من المركبات!

أما عن النهج الآخر الذي كان ناجحًا في الماضي، سواء أكان عن قصد أم لا، فهو ترك ملايين السنين من التفاعلات بين الإنسان والنبات تعمل ملايين الاختبارات والأبحاث، فالأسبرين اكْتُشِفَ عندما قرر أحدهم أن يرى هل يوجد شيء متعلق بالدواء الشعبي القديم المتمثل في مضغ لحاء الصفصاف بغية تخفيف الألم، وشرب شاي لحاء الصفصاف لتقليل الحمى.[1] واكْتشف الكينين عندما قدم راهب يئس من سيدة من إحدى الطبقات النبيلة كانت تحتضر إحدى

مستخلصات لحاء اقترحه عليه السكان الأصليون لدولة بيرو.[2] وأُجْرِيَ حاليًا أبحاث جادة ومكثفة لدراسة العلاج الشعبي ولاسيما ذلك المُستمد من النباتات.

ويُعزى نجاح جيه. كيه. رولينج مؤلفة سلسلة هاري بوتر الشهيرة، بلا أدنى ريب، إلى شخصياتها الفاتنة، وقصصها التي تأسر الألباب، وحواراتها الجريئة، ومشاهدها الخلابة،[3] لكن ثمة عنصرًا آخر أيضًا وهو الإشارة للسحر وللأعشاب السحرية والأحجار والفطريات الرنانة بالإضافة إلى الذاكرة الثقافية، فقد وجدنا الأمر غاية في اليسر بأن نعتقد في السحر لأن أجدادنا اختبروا الأشياء التي يبدو أنها سحر. والعديد من الأعشاب السحرية التي ذُكرت في سلسلة هاري بوتر، مثل الشيح، نبات الأفسنتين wormwood الذي سُمي هكذا بسبب قدرته على إزالة ديدان الأمعاء، له هذه الفاعلية في الواقع.[4] تخيل أنك تقاسي من ديدان الأمعاء، وأنك ستجد مستحضرًا من الشيح يخلصك من هذه الطفيليات، وتخيل أيضًا أنك ابتليت بتضخم في الغدة الدرقية ثم وجدت علاجًا في طحلب بحري محروق يحتوي على اليود، وتخيل أنك مصاب بداء الإسقربوط، وهو نقص فيتامين ج، ووجدت وصفة طبية في عصير الليمون، وهذه هي كل أنواع العلاجات الحقيقية التي استخدمت في الماضي، وكانت بمنزلة السحر للمريض.

ألق نظرة أخرى على خزانة الأدوية الخاصة بك لترى منتجات أخرى مصنوعة من النبات في الأصل، مثل الأدوية المثبطة لمستقبلات البيتا، وأدوية تنظيم النسل، والمسكنات، والملينات، والمطهرات، والصابون ... من ثم المرة القادمة التي تتناول فيها الأدوية المهمة اذهب للخارج واحضن شجرة كي تعبر لها عن امتنانك.

ويُطلق على دراسة كيمياء النباتات مصطلح «الكيمياء النباتية أو كيمياء العقاقير»، وحقيقة أن أدوية فعالة عديدة وُجدت في المواد الطبيعية التي تنتجها النباتات (يُقال إنها قد تصل إلى ثلث الأدوية المصنعة حاليًّا) تثير التساؤل: لماذا؟ لماذا يُفترض أن النباتات تنتج مواد تتفاعل مع الإنسان؟ ولماذا تجعلنا بعض المواد التي تنتجها نباتات معينة في صحة جيدة، وبعضها يجعلنا سعداء، وأخرى تجعلنا ننام، وبعض يميتنا؟

بالطبع من الممكن أن يكون هذا مجرد صدفة، فكلنا وُجدنا على نفس الكوكب — الإنسان والنبات — ومن ثم ينبغي أن تكون كيمياؤنا متشابهة، ومن المرجح جدًّا أن الأدوية التي هي في أصلها نباتات هي متوافقة تمامًا

مع أنظمتنا لأننا نتشارك في نفس الحيز الكيميائي (الكوكب)، ولكن هناك أيضًا علاقة نفعية بين النبات والحيوان، فكلاهما على نفس القدر من الأهمية، تستهلك النباتات ثاني أكسيد الكربون وتنتج الأوكسجين، والحيوان يستهلك الأوكسجين وينتج ثاني أكسيد الكربون. ويلقح النحل الزهور، وتغذي الزهور النحل. ونجد أن أكثر القطط المتوحشة وآكلة اللحوم تأكل الأعشاب من وقت لآخر لتحصل على الألياف التي تحتاجها. وتنمو مبايض بعض النباتات إلى فاكهة، وعليه تأكل الحيوانات البذور وتنقلها بعيدًا، ومن ثم يجري تجنب المنافسة مع النبات الأم على الموارد.

وتعد بعض المواد الكيميائية التي تنتجها النباتات مفيدة لنا، وذلك لأن النباتات تحمي نفسها من نفس الأشياء التي نحمي أنفسنا منها، مثل البكتريا والفيروسات والفطريات. لكن النباتات يمكنها أن تقوم بدور أكثر من مجرد المطهرات، ففي هاري بوتر، كانت إحدى الشخصيات التي تُدعى سناب يُوبّخ بوتر، وكان هاري بحاجة لأن يعرف عشبه، نبات البروق، الذي يُستخدم لصنع منوم قوي للغاية حتى إنه يُعرف بـ«إكسير الحياة».[٥] وهذا أمر حقيقي،[٦] فقد حُذِّرَ هاري من أن نبات خانق الذئب، ونبات أصفر الزهر هما سموم قوية جدًّا،[٧] وهما كذلك بالفعل،[٨] ويوجه سناب هاري إلى أن يكتب اسم «أكونيت أو نبات خانق الذئب السام» — ونبذة تاريخية تخبرنا بأن الأكونيت والبلادونا (حشيشة ست الحسن) كانا في وقت ما يُستخدما معًا لعمل عقار للهلوسة الخاصة بالطيران.[٩]

لماذا تنتج النباتات مواد كيميائية تتمتع بهذه الخصائص المميزة؟ هل النباتات يصيبها آلام في الرأس؟ هل لديها اضطرابات في النوم؟ لماذا تكون النباتات مواد كيميائية بها نسبة من المسكنات أو المهدئات أو تكون ذات خصائص نفسية المفعول؟

مرة أخرى نقول إن الأمر قد يكون مجرد صدفة، فالنباتات تنتج مواد كيميائية لقتل الحيوانات الضارية، لكن السم الذي قد يقتل حشرة، قد يسبب مجرد اهتياج للإنسان فحسب بل قد يعمل كمهدئ له. فغالبًا ما يكون الفرق بين المهدئ والسم هو فرق في الجرعة فحسب، فتناول السموم بدرجة غير مميتة من أجل الحصول على اللذة أصبحت معروفة باسم «المسممات»، إشارة إلى أصلها السُّمّي.

ومن ناحية أخرى، قد تكوّن النباتات بعض المسكنات والمهدئات لأن هذا يفيد النبات نفسه، فإذا كان الحيوان الضاري يأكل النبات بغرض الأكل، قد لا يكون هناك منبهات تجعل الحيوان يوقف نفسه عن أكل البرعم أو الزهرة كلها، أما إذا كان يأكل بغرض الفائدة الحسية، فإن الحيوان قد يأكل فقط ما يكفي لإشباعه ثم يتوقف، إذ يُخدر الحيوان. ما الفائدة التي تعود على النبات إذن؟ لعلها التخصيب، فعلى الأرجح، يتبرز الحيوان الذي هدأه النبات على مقربة من النبات بدلًا من التجول بعيدًا بالعناصر الغذائية للنبات الضحية. أو هناك فائدة أخرى قد تعود على النبات وهي التشذيب، فالنباتات العشبية يمكنها أن تتكاثر عن طريق قطع أوراقها وبذورها، فإزالة أطراف هذه الأنواع من النباتات يسمح للنبات أن يوجه كل طاقاته نحو الأجزاء الباقية، عندئذ يكون التشذيب علاجًا ذاتيًّا، ونفس المادة الكيميائية التي تكون مهدئًا للحيوان، تكون سامة لبعض الحشرات مما قد يحد من التهاب من الحشرة أيضًا.

وأيًا كانت الضغوط النابعة، فإن النباتات تكوّن مركبات تؤثر علينا، مثل القهوة والشاي والتبغ وعرق السوس والكودايين والكوكايين، والأفيون، كل هذه جميعها في الأساس هي أدوية عشبية. وتعد النباتات أيضًا مصادر للمطهرات، والمسكنات، والمضادات الحيوية، والأدوية الطاردة للديدان، والمهدئات، والمنبهات، والمجهضات، والسموم، والملينات، والأدوية المدرة للبول، ومضادات الإسهال، وأيضا الأدوية الترويحية الفعالة، وكذلك، كما يقول معلم هاري بوتر الذي كان يعلمه إنها الشهرة المكتومة، والمجد المختمر، وحتى الموت المختوم.

وعلم العقاقير هو الدراسة التي تدور حول اكتشاف الأدوية المنتجة طبيعيًّا وتطويرها، وهو يتضمن في نطاقه البحث في الادعاءات الخاصة بالسلالات النباتية — أو بكلمات أخرى «الطب البلدي» — وتنظر هذه الأبحاث في ممارسات الثقافات الحديثة، مثل قاطني الغابات الكثيفة الأمطار، كما ينعمون النظر أيضًا في الممارسين البارزين مثل ناسكوا ومتسولي القرون الوسطى في أوروبا، والزوجات المتقدمات في العمر والعرافين والساحرات.

وثمة إدراك جديد يدور حول أن الناس الذين اضطهدوا بوصفهم سحرة ومشعوذين في العصور الوسطى في أوربا، الذين كانوا في حقيقة الأمر مجرد ربات منزل ومعالجين، وبعض من علاجاتهم المزعوم أنها سحرية هي أدوية

ذات كفاءة وفاعلية معترف بها؛ فقد كانوا ينصحون الشخص الذي يعاني ألم الأسنان باستعمال زيت القرنفل المسكن للألم، وقشر البيض الجيري لاضطرابات المعدة، لأنه مصدر لكربونات الكالسيوم المكون الأساسي لمضادات الحموضة المستخدمة اليوم.

لكن ليست كل الممارسات الطبية التي كان يمارسها القدماء ذات فائدة؛ فهم لم يتبعوا المواصفات المتعارف عليها، والإجراءات العلمية السليمة مثل الاحتفاظ بسجلات المحاولات الناجحة لاتباعها والخاطئة لتجنبها، ولم يميزوا بدقة أيضًا السبب والنتيجة، وكان تشتهر فلسفاتهم الطبية بأنها تتضمن علاج السلاح الذي سبب الجرح بدلًا من علاج الجرح نفسه، وكانوا يستخدمون أدوية ذات تأثيرات تشبه تأثيرات المرض المقصود علاجه، ولعله أصل الاعتقاد بأنك سوف تُشفى إذا أخذت شعرة من الكلب الذي عضك. وقد جلب العرب الكثير من المعرفة الطبية العملية وكذلك المعرفة الخاصة بالرومانيين واليونانيين القدامى إلى أوربا الغربية في أوائل العصور الوسطى، فبدأ المعالجون الأوربيون في محاكاة الكلام العربي في محاولة لتحسين مجهوداتهم، وتبعًا لذلك كلمات «السحر» مثل كلمة الأقزام «alakazam»، وكلمة أبراكادبرا «abracadabra» وهما كلمات سحر غير مفهومة. وتحسن جي. كي. رولينج في هاري بوتر استغلال الفكرة عندما تجعل العرافين الصبية ينشدون تعويذاتهم السحرية بجمل سحرية بارعة أشبه باللغة اللاتينية.[١٠]

غير أن المعالجين القدامى كانوا يعرفون جيدًا ماذا يفعلون، لكنهم لا يريدون أن يعرف أحد غيرهم ما يعرفون، ولقد كان للأوربيين الذين عاشوا في القرون الوسطى السبق بعدة سنوات في عمل براءة اختراع للأدوية، فكان على المعالجين الناجحين أن يصونوا أسرارهم إذا أرادوا أن يحافظوا على مهنتهم، فكثير من الأدوية التي استخدموها كان يمكن إدراكها بسهولة مثل الأعشاب العطرية (البهارات)، من ثم كانوا يخفون المكون الفعال الأساسي في طبخة دوائية مذاقها ورائحتها كريهان، وكانوا يعملون ستائر دخانية مع شعائر بارعة، من ثم لم يكن تناول الدواء إلا مجرد خطوة من بين خطوات عديدة مؤثرة، ولم يكن الأمر مجرد صدفة حينما كان هاري بوتر المبتدئ يتطلع بلهفة إلى عصاه السحرية،[١١] ومما هو معروف أن ممارسين آخرين للسحر كانوا يستخدمون عصا ويلوحون بها حول المريض فيركز المريض نظره على

العصا ولا يلحظ ما كانوا يضيفونه خفية للمزيج، ولعل شعوذة «الهوكس بوكس» hocus-pocus كانت بمنزلة ضمان للممارسات السيئة البدائية، فإذا لم يكن العلاج فعالًا، فإن السحرة يدعون أن تعليماتهم لم تُتبع، أو أن هذا النوع بعينه من الأعشاب ينبغي أن يُقطف في منتصف الليل عند اكتمال القمر.

وإذا كان هناك الكثير من الهراء، فكيف نميز عندئذ الأعشاب المفيدة مما لا فائدة له؟ وهل نستطيع أن نفعل هذا؟ وهل هناك درجة حقيقية في فحص التقاليد الطبية القديمة؟ نعم، فثمة دراسة لطرق استخدام الأدوية الآن — وطرق استخدامها في الماضي — تخبرنا عن أكثر من مجرد طحن النباتات وتمريرها في مطياف ضخم، ومن الضروري أن نعرف الطريقة التي تُعد بها الأعشاب لدى تقييم مدى كفاءتها، فالإعداد المناسب قد يكون ضروريًّا لإطلاق المادة الفعالة، ومن الضروري أيضًا أن نعرف طريقة تقديم العشب، ففي كثير من الأوقات لا بد أن تكون العقاقير خليطًا تآزريًّا، بمعنى أنها لا تعمل إلا عند مزجها مع عقاقير أخرى، وهو التأثير الذي لا يمكن تمييزه أو إدراكه عند اختبار هذه العقاقير بمعزل عن العقاقير الأخرى. وتعد إمكانية حدوث أية تفاعلات السبب في ضرورة استشارة الطبيب لدى مزج العقاقير، حتى في حال التحضيرات العشبية، ففي بعض الأحيان يمكن أن تحدث تفاعلات عكسية، فعلى سبيل المثال، يمكن أن يتحول التخلص المذهل من آلام الطفيليات المعوية بسبب تناول الشيح إلى كارثة، بل قد تفضي إلى الموت، فالشيح يستخدم مع بعض الأعشاب الأخرى في عمل الأفسنت، وهو مسكر معطر إدماني يُعرف أنه يسبب العمى وتلف الأعصاب والاضطراب العقلي لمدمنيه.[١٢] وتقدم الأبحاث التي تُجرى بالطرق التقليدية التي كانت تُستخدم فيها الأعشاب معلومات قد تُغفل في نواحٍ أخرى.

وبالإضافة إلى دراسة دستور الأدوية الشعبية، يبحث علم العقاقير عن أدوية جديدة في الموارد الطبيعية أيضًا، وثمة مبشرات لإيجاد مواد كيميائية مثيرة عديدة، فهناك أشجار تعيش آلاف السنين، فما الذي تعرفه هذه الأشجار ولا نعرفه نحن؟ وعندما يتعلق الأمر بنمو أفرع الأشجار، فالأشجار تعرف كل شيء أكثر منا! فعند تعرض النباتات للآفات الحشرية، وُجد أن النباتات تبث إشارات كيميائية لجذب حشرات أخرى تتغذى على هذه الآفات الضارة، وقد اتضح حديثًا أن بعض النباتات التي تتعرض للهجوم يمكنها أن ترسل إشارات

تحذيرية لنباتات أخرى كي تسلح نفسها من الخطر الوشيك الحدوث.[١٣] وقد يوجد مثل هذه المركبات الكيميائية في النباتات التي لا تظهر سوى في جزء من اليوم، مثل ذلك الوقت الذي يكون فيه النبات في حالة احتجاز أو تحت ظروف مناخية معينة، هل مثل تلك التعليمات التي يقولها المشعوذ: في منتصف الليل وعند اكتمال القمر؟!

ولا شك في أن هناك أيضًا مواد أخرى ذات فائدة في أماكن أخرى في الطبيعة، مثل المحيطات، والأغطية الجليدية القطبية، والبراكين، وربما حتى في كواكب أخرى وأقمار، وقبل أن نستفيد من هذه الموارد، ثمة كم كبير من المشكلات التي تحتاج لإيجاد حلول لها بيد أن هناك احتمالًا لحدوث الوفرة الكيميائية إذا قمنا بحل هذه المشكلات. أين نكثف جهودنا؟ قد تجد الإجابة في كلمات العالم المبجل مؤلف الكتب العلمية إيزاك أزيموف Issac Asimov حينما قال: «إن أكثر العبارات التي يمكن أن تسمعها في العلم إثارة ... هي ليست في «وجدتها»، ولكن «هذا ممتع» ...»

إننا سوف نجد الوجهة التي نقصدها عندما نحصل على اكتشاف ما، عندما يلتقط أحدهما حصاة ويلحظ نمطًا جديدًا، أو يجد حشرة جديدة أو معدنًا غريبًا، إنها تحتاج لشخص يتمتع ببعض الفضول والرغبة في المعرفة، شخص يستمتع بالتاريخ والموسيقى والفنون، وربما بعض كتب الكيمياء الغريبة.



خاتمة

«أنا أمدح نفسي وأشيد بها، وما أفترضه أنا تفترضونه أنتم، لأن كل ذرة تخصني تخصكم أنتم أيضًا.»

والت وايتمان في «أوراق العشب» ١٨٥٥

إذا أثار موجز علم الكيمياء هذا المختصر للغاية كل قرائنا، فحتمًا سينهضون وكأنهم معًا نهضة امرئ واحد ويهتاجون كالعاصفة بحثًا عن مزيد من الاستنارة، صارخين: لا شيء يمكنه أن يبهجنا أكثر من هذا، فهذا الكم من المعلومات هائل جدًّا.

لقد ذهبنا في رحلة رائعة، فقد فحصنا تركيب الجسيمات الدقيقة للمادة وسلوكها، وشاهدنا كيف أن خصائصها البالغة الصغر تتكاثر كي تكون العالم من حولنا، ودرسنا الكيمياء القديمة وشرحنا هذه التفاعلات الحية باستخدام مواد عادية، ورأينا كيف أن الكيمياء ترتبط بخبرات الحياة اليومية، وطورنا فهمًا بديهيًّا لأساسيات الكيمياء عن طريق الأمثلة والتشبيهات، ورأينا كيف أن المبادئ والنظريات المستمدة من الماضي قد انهالت علينا بوابل من ثروات التكنولوجيا والمواد، وقد رأينا التحديات الموضوعة أمامنا. وفي هذه الألفية

الجديدة، سيكون هناك أدوية جديدة ومداخل ابتكارية للشفاء، وسيكون هناك كباري قابلة للثني دون أن تنكسر حينما تهتز الأرض، وسيكون هناك مصادر جديدة للوقود غزيرة غزارة ضوء الشمس وطعام كافٍ لإطعام العالم المتضور جوعًا، وسيكون هناك أيضًا فهم جديد لكل العلوم، وسوف نتعلم كيفية حماية هذا الكوكب والحياة بكافة أشكالها.

لكن من أين نبدأ؟ ومن الذي يحدد أين نطبق مواردنا؟ وإذا وجدنا شكلًا جديدًا للحياة في المحيط يمكنه أن ينتج دواء فعالًا جديدًا، إذن سيخص من هذا الدواء؟ ولمن سيُسمح بالحصول على فوائده، وتطويره، وضمان الحفاظ عليه؟ الإجابة هي الناس، كل الناس، فكيمياء المستقبل سوف تعتمد على أكثر من مجرد كيميائي؛ إنها سوف تتطلب تضافر الجهود الدولية التي تستقطب مواهب الفلاسفة، والباحثين، وعلماء البيئة، وأخصائيي علم الأخلاق والاقتصاد والإحصاء، ورجال القانون ومنفذيه، وعلماء النبات والبكتريا والأعشاب، والمؤرخين من كتاب وجمهور، وعلماء التكنولوجيا العاملين في المعامل والمختبرات وفي مجال الكهرباء والحاسب الآلي، وكل أولئك المستعدين لصنع قرارات مستنيرة ومثقفة.

فلا يزال هناك الكثير من العمل الذي يحتاج إنجازه والكثير من الأسباب لإتمامه، فالعمل بعيد كل البعد عن بلوغ نهايته، والمتعة لا تنتهي أبدًا.

الملحق

Elements Listed By Name, Symbol, and Atomic Number

Elements Sorted By Name

Symbol	Name	Atomic number	Mass*
Ac	Actinium	89	(227)
Al	Aluminum	13	26.98
Am	Americium	95	(243)
Sb	Antimony	51	121.76
Ar	Argon	18	39.95
As	Arsenic	33	74.92
At	Astatine	85	(210)
Ba	Barium	56	137.33
Bk	Berkelium	97	(247)
Be	Beryllium	4	9.01
Bi	Bismuth	83	208.98
Bh	Bohrium	107	(264)
B	Boron	5	10.81
Br	Bromine	35	79.90
Cd	Cadmium	48	112.41
Ca	Calcium	20	40.08
Cf	Californium	98	(251)
C	Carbon	6	12.01
Ce	Cerium	58	140.12
Cs	Cesium	55	132.91
Cl	Chlorine	17	35.45

Symbol	Name	Atomic number	Mass*
Cr	Chromium	24	52.00
Co	Cobalt	27	58.93
Cu	Copper	29	63.55
Cm	Curium	96	(247)
Db	Dubnium	105	(262)
Dy	Dysprosium	66	162.50
Es	Einsteinium	99	(252)
Er	Erbium	68	167.26
Eu	Europium	63	151.96
Fm	Fermium	100	(257)
F	Fluorine	9	19.00
Fr	Francium	87	(223)
Gd	Gadolinium	64	157.25
Ga	Gallium	31	69.72
Ge	Germanium	32	72.64
Au	Gold	79	196.97
Hf	Hafnium	72	178.49
Hs	Hassnium	108	(269)
He	Helium	2	4.00
Ho	Holmium	67	164.93
H	Hydrogen	1	1.01
In	Indium	49	114.82
I	Iodine	53	126.90
Ir	Iridium	77	192.22
Fe	Iron	26	55.85
Kr	Krypton	36	83.80
La	Lanthanum	57	138.91
Lr	Lawrencium	103	(262)
Pb	Lead	82	207.20
Li	Lithium	3	6.94
Lu	Lutetium	71	174.97
Mg	Magnesium	12	24.31
Mn	Manganese	25	54.94
Mt	Meitnerium	109	(268)
Md	Mendelevium	101	(258)

Symbol	Name	Atomic number	Mass*
Hg	Mercury	80	200.59
Mo	Molybdenum	42	95.94
Nd	Neodymium	60	144.24
Ne	Neon	10	20.12
Np	Neptunium	93	237.05
Ni	Nickel	28	58.69
Nb	*Niobium*	41	92.91
N	Nitrogen	7	14.01
No	Nobelium	102	(259)
Os	Osmium	76	190.23
O	Oxygen	8	16.00
Pd	Palladium	46	106.42
P	Phosphorus	15	30.97
Pt	Platinum	78	195.08
Pu	Plutonium	94	(244)
Po	Polonium	84	(209)
K	Potassium	19	39.10
Pr	Praseodymium	59	140.91
Pm	Promethium	61	(145)
Pa	Protactinium	91	231.04
Ra	Radium	88	(226)
Rn	Radon	86	(222)
Re	Rhenium	75	186.21
Rh	Rhodium	45	102.91
Rb	Rubidium	37	85.47
Ru	Ruthenium	44	101.07
Rf	Rutherfordium	104	(261)
Sm	Samarium	62	150.36
Sc	Scandium	21	44.96
Sg	Seaborgium	106	(266)
Se	Selenium	34	78.96
Si	Silicon	14	28.09
Ag	Silver	47	107.87
Na	Sodium	11	22.99
Sr	Strontium	38	87.62

Symbol	Name	Atomic number	Mass*
S	Sulfur	16	32.07
Ta	Tantalum	73	180.95
Tc	Technetium	43	(98)
Te	Tellurium	52	127.60
Tb	Terbium	65	158.93
Tl	Thallium	81	204.38
Th	Thorium	90	232.04
Tm	Thulium	69	168.93
Sn	Tin	50	118.71
Ti	Titanium	22	47.87
W	Tungsten	74	183.84
U	Uranium	92	238.84
V	Vanadium	23	50.94
Xe	Xenon	54	131.29
Yb	Ytterbium	70	173.04
Y	Yttrium	39	88.91
Zn	Zinc	30	65.39
Zr	Zirconium	40	91.22

*The masses can be interpreted as amu per atom (see chap. 2) or grams per mole (see chap. 9). The numbers in parentheses are approximate because these elements are artificially made. They do not have a natural abundance on which to base an average mass.

Elements Sorted By Symbol

Symbol	Name	Atomic number	Mass*
Ac	Actinium	89	(227)
Ag	Silver	47	107.87
Al	Aluminum	13	26.98
Am	Americium	95	(243)
Ar	Argon	18	39.95
As	Arsenic	33	74.92
At	Astatine	85	(210)
Au	Gold	79	196.97

Symbol	Name	Atomic number	Mass*
B	Boron	5	10.81
Ba	Barium	56	137.33
Be	Beryllium	4	9.01
Bh	Bohrium	107	(264)
Bi	Bismuth	83	208.98
Bk	Berkelium	97	(247)
Br	Bromine	35	79.90
C	Carbon	6	12.01
Ca	Calcium	20	40.08
Cd	Cadmium	48	112.41
Ce	Cerium	58	140.12
Cf	Californium	98	(251)
Cl	Chlorine	17	35.45
Cm	Curium	96	(247)
Co	Cobalt	27	58.93
Cr	Chromium	24	52.00
Cs	Cesium	55	132.91
Cu	Copper	29	63.55
Db	Dubnium	105	(262)
Dy	Dysprosium	66	162.50
Er	Erbium	68	167.26
Es	Einsteinium	99	(252)
Eu	Europium	63	151.96
F	Fluorine	9	19.00
Fe	Iron	26	55.85
Fm	Fermium	100	(257)
Fr	Francium	87	(223)
Ga	Gallium	31	69.72
Gd	Gadolinium	64	157.25
Ge	Germanium	32	72.64
H	Hydrogen	1	1.01
He	Helium	2	4.00
Hf	Hafnium	72	178.49
Hg	Mercury	80	200.59
Ho	Holmium	67	164.93

Symbol	Name	Atomic number	Mass*
Hs	Hassnium	108	(269)
I	Iodine	53	126.90
In	Indium	49	114.82
Ir	Iridium	77	192.22
K	Potassium	19	39.10
Kr	Krypton	36	83.80
La	Lanthanum	57	138.91
Li	Lithium	3	6.94
Lr	Lawrencium	103	(262)
Lu	Lutetium	71	174.97
Md	Mendelevium	101	(258)
Mg	Magnesium	12	24.31
Mn	Manganese	25	54.94
Mo	Molybdenum	42	95.94
Mt	Meitnerium	109	(268)
N	Nitrogen	7	14.01
Na	Sodium	11	22.99
Nb	Niobium	41	92.91
Nd	Neodymium	60	144.24
Ne	Neon	10	20.12
Ni	Nickel	28	58.69
No	Nobelium	102	(259)
Np	Neptunium	93	237.05
O	Oxygen	8	16.00
Os	Osmium	76	190.23
P	Phosphorus	15	30.97
Pa	Protactinium	91	231.04
Pb	Lead	82	207.20
Pd	Palladium	46	106.42
Pm	Promethium	61	(145)
Po	Polonium	84	(209)
Pr	Praseodymium	59	140.91
Pt	Platinum	78	195.08
Pu	Plutonium	94	(244)
Ra	Radium	88	(226)

Symbol	Name	Atomic number	Mass*
Rb	Rubidium	37	85.47
Re	Rhenium	75	186.21
Rf	Rutherfordium	104	(261)
Rh	Rhodium	45	102.91
Rn	Radon	86	(222)
Ru	Ruthenium	44	101.07
S	Sulfur	16	32.07
Sb	Antimony	51	121.76
Sc	Scandium	21	44.96
Se	Selenium	34	78.96
Sg	Seaborgium	106	(266)
Si	Silicon	14	28.09
Sm	Samarium	62	150.36
Sn	Tin	50	118.71
Sr	Strontium	38	87.62
Ta	Tantalum	73	180.95
Tb	Terbium	65	158.93
Tc	Technetium	43	(98)
Te	Tellurium	52	127.60
Th	Thorium	90	232.04
Ti	Titanium	22	47.87
Tl	Thallium	81	204.38
Tm	Thulium	69	168.93
U	Uranium	92	238.03
V	Vanadium	23	50.94
W	Tungsten	74	183.84
Xe	Xenon	54	131.29
Y	Yttrium	39	88.91
Yb	Ytterbium	70	173.04
Zn	Zinc	30	65.39
Zr	Zirconium	40	91.22

*The masses can be interpreted as amu per atom (see chap. 2) or grams per mole (see chap. 9). The numbers in parentheses are approximate because these elements are artificially made. They do not have a natural abundance on which to base an average mass.

Elements Sorted By Atomic Number

(the periodic table is also a list of elements by atomic number)

Symbol	Name	Atomic number	Mass*
H	Hydrogen	1	1.01
He	Helium	2	4.00
Li	Lithium	3	6.94
Be	Beryllium	4	9.01
B	Boron	5	10.81
C	Carbon	6	12.01
N	Nitrogen	7	14.01
O	Oxygen	8	16.00
F	Fluorine	9	19.00
Ne	Neon	10	20.12
Na	Sodium	11	22.99
Mg	Magnesium	12	24.31
Al	Aluminum	13	26.98
Si	Silicon	14	28.09
P	Phosphorus	15	30.97
S	Sulfur	16	32.07
Cl	Chlorine	17	35.45
Ar	Argon	18	39.95
K	Potassium	19	39.10
Ca	Calcium	20	40.08
Sc	Scandium	21	44.96
Ti	Titanium	22	47.87
V	Vanadium	23	50.94
Cr	Chromium	24	52.00
Mn	Manganese	25	54.94
Fe	Iron	26	55.85
Co	Cobalt	27	58.93
Ni	Nickel	28	58.69
Cu	Copper	29	63.55
Zn	Zinc	30	65.39
Ga	Gallium	31	69.72

Symbol	Name	Atomic number	Mass*
Ge	Germanium	32	72.64
As	Arsenic	33	74.92
Se	Selenium	34	78.96
Br	Bromine	35	79.90
Kr	Krypton	36	83.80
Rb	Rubidium	37	85.47
Sr	Strontium	38	87.62
Y	Yttrium	39	88.91
Zr	Zirconium	40	91.22
Nb	Niobium	41	92.91
Mo	Molybdenum	42	95.94
Tc	Technetium	43	(98)
Ru	Ruthenium	44	101.07
Rh	Rhodium	45	102.91
Pd	Palladium	46	106.42
Ag	Silver	47	107.87
Cd	Cadmium	48	112.41
In	Indium	49	114.82
Sn	Tin	50	118.71
Sb	Antimony	51	121.76
Te	Tellurium	52	127.60
I	Iodine	53	126.90
Xe	Xenon	54	131.29
Cs	Cesium	55	132.91
Ba	Barium	56	137.33
La	Lanthanum	57	138.91
Ce	Cerium	58	140.12
Pr	Praseodymium	59	140.91
Nd	Neodymium	60	144.24
Pm	Promethium	61	(145)
Sm	Samarium	62	150.36
Eu	Europium	63	151.96
Gd	Gadolinium	64	157.25
Tb	Terbium	65	158.93
Dy	Dysprosium	66	162.50

Symbol	Name	Atomic number	Mass*
Ho	Holmium	67	164.93
Er	Erbium	68	167.26
Tm	Thulium	69	168.93
Yb	Ytterbium	70	173.04
Lu	Lutetium	71	174.97
Hf	Hafnium	72	178.49
Ta	Tantalum	73	180.95
W	Tungsten	74	183.84
Re	Rhenium	75	186.21
Os	Osmium	76	190.23
Ir	Iridium	77	192.22
Pt	Platinum	78	195.08
Au	Gold	79	196.97
Hg	Mercury	80	200.59
Tl	Thallium	81	204.38
Pb	Lead	82	207.20
Bi	Bismuth	83	208.98
Po	Polonium	84	(209)
At	Astatine	85	(210)
Rn	Radon	86	(222)
Fr	Francium	87	(223)
Ra	Radium	88	(226)
Ac	Actinium	89	(227)
Th	Thorium	90	232.04
Pa	Protactinium	91	231.04
U	Uranium	92	238.03
Np	Neptunium	93	237.05
Pu	Plutonium	94	(244)
Am	Americium	95	(243)
Cm	Curium	96	(247)
Bk	Berkelium	97	(247)
Cf	Californium	98	(251)
Es	Einsteinium	99	(252)
Fm	Fermium	100	(257)
Md	Mendelevium	101	(258)

Symbol	Name	Atomic number	Mass*
No	Nobelium	102	(259)
Lr	Lawrencium	103	(262)
Rf	Rutherfordium	104	(261)
Db	Dubnium	105	(262)
Sg	Seaborgium	106	(266)
Bh	Bohrium	107	(264)
Hs	Hassnium	108	(269)
Mt	Meitnerium	109	(268)

*The masses can be interpreted as amu per atom (see chap. 2) or grams per mole (see chap. 9). The numbers in parentheses are approximate because these elements are artificially made. They do not have a natural abundance on which to base an average mass.



حواشي وحقوق الصور

Credits

Original artwork by Linda Muse appears on pages 15, 17, 27, 29, 33, 69, 73, 83, 95, 114, 115, 117, 119, 123, 131, 141, 182, 187, 198, 212, 233, 241, 247, 271, 273, 282, 287, 311, and 315.

End Notes

لماذا هذا الكتاب؟

1. Kerry K. Karukstis and Gerald R. Van Hecke, *Chemistry Connections: The Chemical Basis of Everyday Phenomena* (New York: Harcourt/Academic Press, 2000); Joe Schwarcz, *The Genie in the Bottle* (New York: W. H. Freeman, 2001).

كلمات قليلة وضرورية بشأن الأمان والسلامة

1. For example, Robert Gardner, *Kitchen Chemistry: Science Experiments To Do at Home* (New York: J. Messner, 1982); Alan Kramer, *How To Make a Chemical Volcano and Other Mysterious Experiments* (New York: F. Watts, 1989); Louis V. Loeschnig, *Simple Chemistry Experiments with Everyday Materials* (New York: Sterling, 1994); Nathan Shalit, *Cup and Saucer Chemistry* (New York: Dover, 1989).

مقدمة

1. Dr. Seuss, *Bartholomew and the Oobleck* (New York: Random House, 1976).

2. "Nobel Lectures, Chemistry 1942-1962," http://www.nobel.se/chemistry/index.html.
3. Tore Frängsmyr, ed., *Les Prix Nobel 1995* (Stockholm: Almqvist & Wiksell International, 1995). Also online at http://www.nobel.se/chemistry/index.html.
4. Georgina Ferry, *Dorothy Hodgkin: A Life* (Cold Spring Harbor, NY: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1998), pp. 7-25.
5. Frängsmyr, *Les Prix Nobel 1996.*

الإلكترونات والذرات، أو الفيلة والبراغيث

1. Paul A. Tipler, *Physics for Scientists and Engineers* (New York: Worth, 1992), pp. 598-600.
2. Lennard Bickel, *The Deadly Element: The Story of Uranium* (New York: Stein and Day, 1979), p. 66.
3. C. C. Gillispie, ed., *Dictionary of Scientific Biography*, 18 vols. (New York: Scribner, 1970-1990), 13: 362-72.
4. Mary Jo Nye, *Molecular Reality: A Perspective on the Scientific Work of Jean Perrin* (New York: American Elsevier, 1972), pp. 51-172.
5. Ruth Lewin Sime, *Journal of Chemical Education* 66 (1989): 373.
6. Linda Merricks, *The World Made New: Frederick Soddy, Science, Politics, and Environment* (New York: Oxford University Press, 1996), p. 70.
7. Gillispie, *Dictionary of Scientific Biography*, 17: 143-48.
8. Many thanks to Jack Goldsmith for making us aware of this analogy.

تحدث دوريًّا

1. Mary Elvira Weeks and Henry M. Leichester, *Discovery of the Elements.* 7th ed. (Austin, TX: Journal of Chemical Education, 1968), p. 662.
2. Ira N. Levine, *Quantum Chemistry*, 3rd ed. (Boston: Allyn and Bacon, 1983), p. 242.
3. Elaine N. Marieb, *Human Anatomy and Physiology*, 3rd ed. (New York: Benjamin/Cummings, 1991), p. 28.
4. "Alzheimer's Disease," National Institute of Environmental Health Science (NIEHS), http://www.niehs.nih.gov/external/faq/aluminum.htm.

الأسباب، والتفاعلات، والأكسدة والاختزال

1. Norman Mclean, *Young Men and Fire* (Chicago: University of Chicago Press, 1992), pp. 57-130.

الرابط الذي يربط

1. Lee R. Summerlin, Christie L. Borgford, and Julie B. Ealy, *Chemical Demonstrations: A Sourcebookfor Teachers*, 2 vols. (Washington, DC: American Chemical Society, 1987), 2: 179.

إنه غاز

1. J. R. Partington, *A Short History of Chemistry*, 3rd ed. (New York: Macmillan, 1957), p. 46.
2. Ibid., pp. 72-73.
3. C. C. Gillispie, ed., *Dictionary of Scientific Biography*, 18 vols. (New York: Scribner, 1970-1990), 3: 207-209.
4. Ibid., 5: 317-26.
5. Ibid., 13: 374-88.
6. Keith J. Laidler, *The World of Physical Chemistry* (New York: Oxford University Press, 1995), p. 348.

عندما توضع الغازات في الأجواء

1. Donald L. Pavia, Gary M. Lampman, and George S. Kriz Jr., *Introduction to Organic Laboratory Techniques* (Philadelphia: Saunders, 1976), pp. 125-29.
2. C. L. Cobb and H. Goldwhite, *Creations of Fire: Chemistry's Lively History from Alchemy to the Atomic Age* (New York: Plenum, 1995), pp. 302-306.
3. Richard A. Kerr, "Ancient Air Analyzed in Dinosaur-Age Amber," *Science* 238 (November 13, 1987): 890.

كيمياء البلورات النقية

1. C. L. Cobb and H. Goldwhite, *Creations of Fire: Chemistry's Lively History from Alchemy to the Atomic Age* (New York: Plenum, 1995), pp. 205-208.
2. C. L. Cobb, *Magick, Mayhem, and Mavericks: The Spirited History of Physical Chemistry* (Amherst, NY: Prometheus Books, 2002),

pp. 10, 250, 252-56, 293, 302, 303, 314, 319, 333, 342, 369, 374, and opening quote; Cobb and Goldwhite, *Creations of Fire*, pp. 310-13, 329, 332, 367, and 401.

طور جديد تمامًا

1. C. L. Cobb, *Magick, Mayhem, and Mavericks: The Spirited History of Physical Chemistry* (Amherst, NY: Prometheus Books, 2002), pp. 177-85.
2. Kerry K. Karukstis and Gerald R. Van Hecke, *Chemistry Connections* (New York: Harcourt, 2000), p. 145.
3. Ira N. Levine, *Physical Chemistry*, 4th ed. (New York: McGraw-Hill, 1995), p. 458.
4. Kenneth F. Kiple and Kriemhild Coneè Ornelas, eds., *The Cambridge World History of Food*, 2 vols. (Cambridge: Cambridge University Press, 2000), 1: 693.
5. Roberta Larson Duyff, *The American Dietetic Association's Complete Food and Nutrition Guide* (Minneapolis: Chronimed, 1996), p. 193.

الاتزان الكيميائي: الكيمياء ثنائية الاتجاهات

1. C. C. Gillispie, ed., *Dictionary of Scientific Biography*, 18 vols. (New York: Scribner, 1970-1990), 8: 116-19.

الخصائص الترابطية: القوة في العدد

1. C. C. Gillispie, ed., *Dictionary of Scientific Biography*, 18 vols. (New York: Scribner, 1970-1990), 8: 445-47.

عضوية ليس إلا

1. Dorothy Sayers, *The Documents in the Case* (New York: Avon, 1968), p. 201.

صخور الكيمياء

1. Edgar Allan Poe, *Complete Stories and Poems of Edgar Allan Poe* (New York: Doubleday, 1966), p. 486.
2. David Wilson, *The New Archaeology* (New York: Alfred Knopf, 1975), pp. 88-89.

الكيان الكيميائي في مقابلة مع كيمياء الجسم

1. Elaine Marieb, *Human Anatomy and Physiology*, 3rd ed. (Redwood City, CA: Benjamin/Cummings, 1995), p. 881.
2. Stuart Ira Fox, *Human Physiology* (Chicago: Brown, 1996), pp. 372-73.

هاري، وهو غوارتس، والناس

1. C. L. Cobb and H. Goldwhite, *Creations of Fire: Chemistry's Lively History from Alchemy to the Atomic Age* (New York: Plenum, 1995), p. 290.
2. Ibid., p. 285.
3. J. K. Rowling, *Harry Potter and the Sorcerer's Stone* (New York: Scholastic, 1997).
4. Ibid., p. 138; Suzanne E. Weiss, ed., *Foods that Harm, Foods that Heal* (Pleasantville, NY: Readers Digest, 1997), pp. 218, 306.
5. Rowling, *Harry Potter and the Sorcerer's Stone*, p. 138.
6. Deni Brown, *Encyclopedia of Herbs and Their Uses* (New York: Dorling Kindersley, 1995), p. 243.
7. Rowling, *Harry Potter and the Sorcerer's Stone*, p. 81.
8. Brown, *Encyclopedia of Herbs and Their Uses*, p. 228.
9. J. Mann, *Murder Magic, and Medicine* (New York: Oxford University Press, 1992), p. 66-95.
10. Rowling, *Harry Potter and the Sorcerer's Stone*, p. 273.
11. Ibid., p. 81.
12. Brown, *Encyclopedia of Herbs and Their Uses*, p. 243.
13. Joel Achenback, "Plants on the Warpath: The Roots of Combat," *National Geographic* (February 2004).

رقم إيداع ٣٦٢٥/ ٢٠٠٩
ISBN 978 977 6263 25 3

قالوا عن هذا الكتاب:

«ما أن بدأت في قراءة هذا الكتاب، حتى وجدت نفسي لا أستطع أن أتركه. فمؤلفا هذا الكتاب يمتلكان طريقة شيقة في عرض مواضيع الكيمياء عرضًا مثيرًا باستخدام الأشياء التي نستخدمها في حياتنا اليومية، وهما يستخدمان اللغة العلمية بطريقة مثيرة للصور الذهنية من أجل تقديم تصويرات فريدة وتفسيرات رائعة. ويمكن للقارئ إلى جانب ذلك أن «يرى» الكيمياء تحدث أمام عينيه أثناء إجرائه في منزله تجارب عملية مثيرة. وهذا الكتاب يستهوي القارئ بما يتمتع به من ثراء في المحتوي وأسلوب الكتابة والتعبير عن الأفكار. «إنه كتاب رائع ومبهج ويصعب عليك تركه فهو إضافة جميلة إلى أي كتاب في الكيمياء.»

كارين سي. تمبرليك، مؤلفة كتاب

Chemistry: An Introduction to General, Organic, and Biological Chemistry

«إنه كتاب رائع يربط ملاحظاتنا لأمور حياتنا اليومية بالمبادئ العلمية التي تفسرها. والأهم من ذلك هو أنه يمنح القراء فرصة أن يقوموا بإجراء التجارب بأنفسهم مستخدمين مواد في متناول الجميع.»

هربرت دبليو. روزكي، مؤلف كتاب Chemical Curiosities

«لقد كتب كل من كوب وفيترولف كتابًا لتعليم مبادئ الكيمياء الأساسية للناضجين الفضوليين غير المتخصصين في الكيمياء. إن الكتاب غني بالتاريخ الكيميائي والتطبيقات في الحياة اليومية، كما يتضمن مبادئ الكيمياء الموضحة بالتجارب العملية باستخدام مواد منزلية. إن كتاب روعة الكيمياء سيكون بمثابة إضافة رائعة لمدرسي الكيمياء، وهو يعد أيضًا قائمًا بذاته باعتباره كتابًا معدًّا خصيصًا لأولئك الشغوفين بالكيمياء.»

دكتور ستيفن ل. كرومب،

Savannah River National Laboratory, Westinghouse Savannah River Company

«إن هذا الكتاب يعد مرشدًا رائعًا للكيمياء لأولئك المهتمين بمعرفة المزيد عن العالم من حولهم وهم غير علماء – فهو كتاب شيق ومرجعي ومسلٍ، وهي أشياء رائعة لأن تُقال عن كتاب كيمياء.»

روبرت إتش. تمارين، عميد كلية العلوم، بجامعة ماساتشوستس لويل

ISBN 978-977-6263-25-3



http://www.kalematarabia.com

